ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA MESH (WMNs) PARA LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTÓN LATACUNGA DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CHILUISA PILA MILTON JAVIER
milton_chiluisa@hotmail.com

ULCUANGO QUIMBIAMBA JORGE GEOVANNY
jorge4g4ulcuango@gmail.com

DIRECTOR: MSc. MIGUEL HINOJOSA
miguel.hinojosa@epn.edu.ec

Quito, Marzo 2009

DECLARACIÓN

Nosotros, Chiluisa Pila Milton Javier, Ulcuango Quimbiamba Jorge Geovanny, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Chiluisa Pila Milton Javier

Ulcuango Q. Jorge Geovanny

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Chiluisa Pila Milton Javier y Ulcuango Quimbiamba Jorge Geovanny, bajo mi supervisión.

MSc. Miguel Hinojosa

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a todos los profesores quienes supieron darnos parte de su conocimiento, especialmente a nuestro director de proyecto: MSc. Miguel Hinojosa por ser una persona que en todo momento nos supo atender con paciencia, sabiduría y tiempo, y que sin su valioso conocimiento este proyecto no se hubiera hecho realidad.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que a pesar del tiempo supieron brindarme toda la confianza del mundo para así poder cumplir mi objetivo.

A mi linda esposa Lourdes y mi tierno hijo Christopher; que hicieron suyas mi vida y no permitieron que desmayara en el camino; a mis padres José y Beatriz que me han hecho ser quien soy y estar orgulloso de ello; a mi segunda madre Mamita Luz que con su amor incomparable ha logrado curar mis heridas; a mis hermanos Geova, Kry y Yesy, por brindarme cariño y ayuda.

Y por último; a mis tíos Patricio, Fausto y Fabián quienes a pesar de todo se han ganado un lugar en mi corazón.

Gracias a todos por ser como son.

Milton J. Chiluisa P.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Luís Ulcuango y Luz Quimbiamba quienes a pesar de todas las dificultadas siempre me dieron su apoyo y amor incondicional.

También dedico este trabajo a mis hermanos: Ana, Marcia y Luís por ser los mejores hermanos del mundo ya que sin sus consejos y ayuda nunca hubiera conseguido esta meta tan anhelada. Y a toda mi familia por compartir momentos de alegría y tristeza

Finalmente dedico este trabajo a mis amigos, profesores y aquellas personas que de alguna forma este trabajo les sirva para aumentar sus conocimientos en el área comunicaciones inalámbricas.

Jorge Ulcuango Q.

CONTENIDO

RESÚMEN---------- xv

PRESENTACIÓN---------- xvi

CAPÍTULO 1

1. ARQUITECTURAS Y PROTOCOLOS DE LAS REDES INALAMBRICAS MESH (WMNs) ---------- 1

1.1 REDES INALÁMBRICAS IEEE 802.11---------- 1

1.1.1 IEEE 802.11a ---------- 1

1.1.2 IEEE 802.11b---------- 2

1.1.3 IEEE 802.11g ---------- 2

1.1.4 IEEE 802.11n ---------- 2

1.1.5 IEEE 802.11h ---------- 2

1.1.6 OTROS ESTÁNDARES---------- 3

1.2 ESTÁNDAR IEEE 802.16 (Wi-Max) ---------- 4

1.2.1 IEEE 802.16-2001, PRIMERA VERSIÓN DEL ESTÁNDAR--------- 4

1.2.2 IEEE 802.16a ---------- 4

1.2.3 IEEE 802.16c ---------- 4

1.2.4 IEEE 802.16d ---------- 5

1.2.5 IEEE 802.16e ---------- 5

1.3 ARQUITECTURAS EN REDES MESH ---------- 6

1.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS REDES INALÁMBRICAS MESH ---------- 6

1.3.1.1 Comparación entre redes inalámbricas Ad Hoc y redes Mesh----- 7

1.3.1.2 Desafíos en redes Mesh ---------- 7

1.3.1.2.1 Capacidad---------- 8

1.3.1.2.2 Confiabilidad y robustez ---------- 8

1.3.1.2.3 Gestión de recursos.---------- 9

1.3.1.3 Clasificación de arquitecturas en redes Mesh---------- 9

1.3.1.3.1 Arquitectura plana. ---------- 10

1.3.1.3.2 Arquitectura jerárquica ---------- 10

1.3.1.3.3 Arquitectura híbrida ---------- 10

1.3.1.4 Criterios de diseño en redes inalámbricas Mesh multiradio MR-WMNs ---------- 11
1.3.1.4.1 Criterios de diseño arquitectónico---------- 11
1.3.1.4.2 Diseño para la capa MAC---------- 12
1.3.1.4.3 Diseño de protocolos de enrutamiento---------- 13
1.3.1.4.4 Diseño de métricas de enrutamiento ---------- 14
1.3.1.4.5 Topología de control de la red---------- 14
1.3.1.5 Soluciones multiradio para la capa enlace---------- 15
1.3.1.5.1 Protocolo de unificación multiradio [MUP]---------- 15
1.3.1.6 Protocolos de control de acceso al medio para MR-WMNs-------- 17
1.3.1.6.1 Acceso múltiple por detección de portadora multicanal (MCSMA) ---------- 17
1.3.1.6.2 Acceso múltiple por detección de portadora intercalado (ICSMA)---------- 18
1.3.1.7 Protocolos de enrutamiento multiradio para redes Mesh-------- 20
1.3.1.7.1 Métricas de enrutamiento para MR-WMNs---------- 20
1.3.1.7.2 Calidad del enlace multiradio de enrutamiento de origen (MRLQSR) ---------- 21
1.3.2 REDES MESH MULTIRADIO Y MULTICANAL---------- 22
1.3.2.1 Arquitectura Mesh en 802.11---------- 24
1.3.2.2 Capacidad de expansión---------- 25
1.3.2.2.1 Redes Mesh Multicanal de un solo radio---------- 26
1.3.2.2.2 Redes Mesh Multiradio ---------- 27
1.3.2.3 Criterios para el uso de radios---------- 27
1.3.2.4 Asignación de canales y enrutamiento---------- 29
1.3.2.4.1 Asignación básica de canal---------- 29
1.3.2.4.2 Programación lineal entera---------- 30
1.3.2.4.3 Métricas de enrutamiento---------- 30
1.3.2.4.4 Enfoques conjuntos---------- 30
1.3.3 REDES MESH BASADAS EN IEEE 802.11 ---------- 31
1.3.3.1 Problemas de rendimiento y sus causas---------- 32
1.3.3.1.1 Capacidad limitada---------- 32
1.3.3.1.2 La interferencia intraflujo e interflujo---------- 32

1.3.3.1.3 Selección efectiva de ruta---------- 33
1.3.3.1.4 Control del overhead en TCP---------- 33
1.3.3.1.5 Ineficaz control de congestión ---------- 34
1.3.3.1.6 El problema del terminal oculto---------- 34
1.3.3.1.7 El problema de compartir el canal---------- 34
1.3.3.2 Alto rendimiento de enrutamiento---------- 35
1.3.3.3 Redes Mesh multicanal---------- 35
1.3.3.3.1 Asignación del canal basada en la topología ---------- 36
1.3.3.3.2 Interferencia Inter-canal---------- 37
1.3.3.4 Equidad de flujo---------- 37
1.3.3.4.1 Tasa implícita basada en el control de la congestión ------ 38
1.4 PROTOCOLOS EN LAS REDES MESH---------- 38
1.4.1 REQUISITOS DE ENRUTAMIENTO EN LAS REDES WMNs---- 39
1.4.2 ENRUTAMIENTO MULTICAMINO PARA BALANCEO DE CARGA Y TOLERANCIA A FALLOS---------- 40
1.4.3 ENRUTAMIENTO CON QoS---------- 40
1.4.4 CLASIFICACIÓN---------- 40
1.4.4.1 Canal único/Multicanal---------- 42
1.4.4.2 Uniforme/No uniforme---------- 43
1.4.4.3 Topología jerárquica/Enrutamiento con Clúster---------- 43
1.4.4.4 Protocolos basados en posicionamiento---------- 44
1.4.4.5 Proactivo/Enrutamiento bajo demanda---------- 44
1.4.4.6 Información de topología reducida/completa---------- 45
1.4.4.6.1 Uso del enrutamiento fuente---------- 45
1.4.4.6.2 Uso de los mensajes de broadcast---------- 45
1.4.4.7 Estrategia de selección de ruta---------- 46
1.4.5 AODV (AD HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR)---------- 46
1.4.5.1 Mantenimiento de números de secuencia---------- 48
1.4.5.2 Entradas de la tabla de enrutamiento---------- 48
1.4.5.3 Generación de peticiones de rutas.---------- 49
1.4.5.4 Procesamiento y retransmisión de peticiones de ruta.---------- 49
1.4.5.5 Generación de respuesta de ruta---------- 50
1.4.5.6 Recepción y retransmisión de respuesta de ruta---------- 50

1.4.5.7 Mensajes de error (RERR)---------- 51
1.4.5.8 Ejemplo de utilización---------- 51
1.4.6 OSPF (OPEN SHORTEST PATH FIRST)---------- 52
1.4.6.1 Tipos de mensajes OSPF---------- 53
1.4.6.2 Router designado---------- 53
1.4.6.3 Sistemas autónomos de área---------- 54
1.4.6.4 Encaminamiento de área en OSPF---------- 54
1.4.6.5 Destino fuera de los Sistemas Autónomos de OSPF---------- 55
1.4.6.6 Wireless---------- 56
1.4.7 OLSR (OPTIMIZED LINK STATE ROUTING PROTOCOL ------- 58
1.4.7.1 Funcionamiento---------- 59
1.4.7.1.1 Funcionamiento núcleo---------- 59
1.4.7.1.2 Funciones auxiliares---------- 61
1.4.7.2 Ejemplo de utilización---------- 63
1.5 SEGURIDAD---------- 64
1.5.1 TECNOLOGÍAS EN SEGURIDAD---------- 64
1.6 NUEVAS APLICACIONES Y ESCENARIOS---------- 67
1.6.1 ACCESO A INTERNET DE BANDA ANCHA---------- 67
1.6.2 RED MESH COMUNITARIA---------- 68
1.6.3 HOGAR MESH---------- 68
1.6.4 OFICINA INALÁMBRICA---------- 69
1.6.5 MESH ESPONTÁNEA---------- 69
1.6.6 CAMPUS MESH---------- 69
1.7 ESTANDARIZACIÓN DE MESH EEE 802.11s---------- 69
1.7.1 PROPUESTA WI-MESH.---------- ---------- 70
1.7.2 PROPUESTA SEEmesh.---------- 71
1.7.3 ESTADO ACTUAL---------- 71

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS PREVIO PARA EL DISEÑO DE LA RED---------- 72
2.1. INTRODUCCIÓN---------- 72
2.2. DESCRIPCIÓN DE EL CANTÓN LATACUNGA PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE COTOPAXI---------- 72
2.2.1. DIVISIÓN POLÍTICA ---------- 73

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS ---------- 74
2.2.3. ECONOMÍA---------- 76
2.2.4. EDUCACIÓN---------- 77
2.2.5. SERVICIOS BÁSICOS---------- 78
2.3. ESTADO ACTUAL DE LAS COMUNICACIONES EN EL CANTÓN LATACUNGA ---------- 78
2.3.1. TELEFONÍA FIJA---------- 78
2.3.1.1. Andinatel S.A.---------- 78
2.3.2. TELEFONIA MÓVIL CELULAR---------- 79
2.3.2.1. Conecel S.A. (PORTA.---------- 80
2.3.2.2. Otecel S.A. (Telefónica Móviles)---------- 80
2.3.2.3. Telecsa S.A. (Alegro PCS)---------- 81
2.3.3. OTROS SERVICIOS ---------- 83
2.4. SELECCIÓN DE POBLACIÓNES.---------- 83
2.4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOCALIDADES ---------- 83
2.4.2. PRINCIPALES CENTROS EDUCATIVOS---------- 83
2.4.3. ENCUESTA---------- 85
2.4.3.1. Resultados de la Encuesta---------- 88
2.4.3.2. Análisis de los resultados obtenidos de la encuesta---------- 94
2.4.4. PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RED---------- 95

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA RED MESH---------- 96
3.1 INTRODUCCIÓN---------- 96
3.2 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO PARA REDES INALÁMBRICAS EN ÁREAS RURALES.---------- 96
3.3 VISIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED WMNS---------- 97
3.4 REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE LA RED WMNS---------- 101
3.4.1 REQUISITOS GENERALES---------- 101
3.4.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS---------- 101
3.5 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA A EMPLEARSE EN EL DISEÑO DE LA RED WMNs---------- 103
3.5.1 REDES WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS---------- 103

3.5.1.1 Ventajas---------- 103
3.5.1.2 Desventajas---------- 104
3.5.2 PROBLEMÁTICA DEL USO DE WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS---------- 104
3.5.2.1 Capa física---------- 104
3.5.2.2 Capa MAC---------- 106
3.5.3 ARQUITECTURA MESH PARA REDES WIFI PARA LARGA DISTANCIA---------- 108
3.6 ENLACES PARA WIFI---------- 110
3.6.1 EL CALCULO DE LOS ENLACES---------- 111
3.6.1.1 Pérdidas en el espacio libre---------- 111
3.6.1.2 Potencia de Transmisión---------- 115
3.6.1.3 Ganancia de las Antenas---------- 116
3.6.1.4 El Mínimo Nivel de Señal Recibida---------- 116
3.6.1.5 Pérdidas en los Cables---------- 116
3.6.1.6 Pérdidas en los conectores---------- 117
3.6.2 ZONAS DE FRESNEL---------- 118
3.6.2.1 Línea de vista---------- 119
3.6.2.2 Multitrayectoria.---------- 120
3.7 SOFTWARE DE CÁLCULO DE ENLACES---------- 120
3.7.1 RADIO MOBILE---------- 120
3.7.1.1 Instalando Radio Mobile---------- 122
3.7.1.2 Guía de utilización del software radio Mobile---------- 123
3.7.1.2.1 Comentarios previos y definiciones importantes---------- 123
3.7.1.2.2 Notación de Radio Mobile---------- 124
3.7.1.3 Modelo Longley – Rice---------- 124
3.7.1.3.1 Parámetros generales---------- 124
3.7.1.3.2 Parámetros específicos para el modelo de Longley-Rice-- 125
3.8 ESTUDIO DE CAMPO---------- 128
3.8.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL ESTUDIO DE CAMPO---------- 128
3.8.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CAMPO-- 129
3.8.2.1 Parroquia Aláquez---------- 129
3.8.2.2 Parroquia Belisario Quevedo---------- 130

3.8.2.3 Parroquia Guaytacama. ---------- 131
3.8.2.4 Parroquia Joseguango Bajo. ---------- 132
3.8.2.5 Parroquia Mulaló. ---------- 132
3.8.2.6 Parroquia 11 de Noviembre. ---------- 133
3.8.2.7 Parroquia Poaló. ---------- 134
3.8.2.8 Parroquia San Juan de Pastocalle---------- 135
3.8.2.9 Parroquia Tanicuchí---------- 136
3.8.2.10 Parroquia Toacaso.---------- 136
3.8.2.11 Análisis del terreno. ---------- 137
3.8.2.11.1 Posibles interferencias---------- 139
3.9 REQUERIMIENTOS DE ANCHO DE BANDA DE LA RED WMNs-- 141
3.9.1 REQUERIMIENTOS DE TRÁFICO PARA CADA APLICACIÓN- 141
3.9.1.1 Correo electrónico---------- 142
3.9.1.2 Acceso a Internet.---------- 142
3.9.1.3 Voz por Internet.---------- 142
3.9.1.4 Vídeo sobre IP---------- 142
3.9.2 ESTIMACIÓN TOTAL DE LA CAPACIDAD DEL TRÁFICO--- 142
3.9.2.1 Determinación de ancho de banda necesario para cada servicio--- 143
3.9.2.1.1 Correo electrónico---------- 145
3.9.2.1.2 Acceso a Internet (búsqueda de información)---------- 145
3.9.2.1.3 Ancho de banda necesario para aplicaciones adicionales- 145
3.9.2.1.4 Capacidad Total---------- 146
3.10 CRITERIOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RED WMNs---------- 146
3.11 EQUIPOS PARA REDES WMNs---------- 147
3.11.1 EQUIPOS COMUNES PARA REDES WMNS---------- 147
3.11.1.1 4G Access Cube---------- 147
3.11.1.2 MeshNode---------- 148
3.11.1.3 Locustworld MeshAP---------- 148
3.11.2 EQUIPOS ESPECÍFICOS PARA LA RED WMNS EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTÓN LATACUNGA------ 149
3.11.2.1 Estación cliente---------- 149
3.11.2.1.1 Enrutador inalámbrico.---------- 149

3.11.2.1.2 Antenas---------- 151
3.11.2.2 Repetidor---------- 152
3.11.2.2.1 Enrutador Inalámbrico---------- 153
3.11.2.2.2 Antenas---------- 155
3.12 DISEÑO DE LA RED WMNs CON RADIO MOBILE.---------- 156
3.12.1 DESCARGA DEL MAPA.---------- 157
3.12.2 UBICACIÓN DE LAS UNIDADES---------- 159
3.12.3 CREACIÓN DE SISTEMAS.---------- 162
3.12.4 CREACIÓN DE SUBREDES---------- 165
3.12.4.1 Subred Poaló y 11 de Noviembre---------- 166
3.12.4.2 Subred Aláquez.---------- 168
3.12.4.3 Subred Mulaló y Joseguango Bajo---------- 170
3.12.4.4 Subred Guaytacama, Tanicuchí y Toacaso---------- 173
3.12.4.5 Subred San Juan de Pastocalle---------- 175
3.12.4.6 Subred Pasarela---------- 176
3.13 SELECCIÓN DE SOFTWARE MESH PARA LOS DE EQUIPOS SELECIONADOS---------- 178
3.13.1 SOFTWARE RELACIONADO CON HARDWARE MESH------- 178
3.13.2 PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO---------- 180
3.13.2.1 Implementación de Protocolo OSLR en el enrutador Linksys WRT54GLL---------- 180
3.13.2.2 Implementación de Protocolo OSLR en el enrutador LiteStation2 2.4GHz.---------- 181

CAPÍTULO 4

4 PRESUPUESTO---------- 183
4.1 INTRODUCCIÓN---------- 183
4.2 PRESUPUESTO PREVIO. ---------- 183
4.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS---------- 183
4.3.1 COSTOS DE EQUIPOS---------- 184
4.3.1.1 Costos de equipos de Acceso---------- 184
4.3.1.2 Costos de equipos en la sala de informática---------- 189
4.3.1.3 Costos de los equipos de la red troncal---------- 194
4.3.1.4 Costo Total de los Equipos---------- 198

4.3.2 COSTOS DE INFRAESTRUCTURA---------- 198
4.3.3 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN---------- 200
4.3.3.1 Mano de obra---------- 200
4.3.3.2 Equipos y herramienta---------- 201
4.3.3.3 Software y Licencias---------- 201
4.3.4 COSTOS TOTALES ESTIMADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED WMNs---------- 202
4.3.5 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO---------- 203
4.3.5.1 Pago mensual del servicio de Internet. ---------- 203
4.3.5.2 Autorización y uso de frecuencias---------- 203
4.3.5.3 Pago de salarios al personal---------- 203
4.3.5.4 Transporte, oficina y suministros para operación y mantenimiento---------- 204
4.4 FINANCIAMIENTO---------- 204
4.5 TARIFACIÓN---------- 205

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES---------- 208
5.1 CONCLUSIONES---------- 208
5.2 RECOMENDACIONES---------- 212
5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS---------- 214
ANEXOS---------- 217

ANEXO A: MAPAS DE LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTÓN LATACUNGA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.
ANEXO B: FORMATO DE LA ENCUESTA TOMADA EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTÓN LATACUNGA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.
ANEXO C: HOJAS DE DATOS Y MANUALES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LA RED MESH.
ANEXO D: GUÍA COMPLETA DE UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA RADIO MOBILE.

RESUMEN

Este proyecto de Titulación tiene como propósito ofrecer una solución tecnológica para dotar de servicios de comunicaciones a las parroquias rurales del cantón Latacunga en la provincia de Cotopaxi, definiendo los parámetros técnicos que se deben cumplir y la normativa a seguir para operar redes inalámbricas con tecnología MESH (WMNs). Este trabajo ha permitido aplicar los diferentes conocimientos adquiridos en el tiempo de estudio de la carrera.

En el capituló 1, se hace una revisión general de los estándares IEEE 802.11, IEEE 802.16, para luego hacer el estudio detallado de las arquitecturas para redes Mesh, dentro de la cual se presenta las características generales de este tipo de redes, también en esta sección se presenta los problemas e inconvenientes que se tienen que superar todavía para esta clase de redes, además se presenta un estudio de los protocolos para estas redes. Finalmente se analiza los escenarios en los cuales se puede aplicar esta tecnología.

En el capituló 2, aborda el estudio de la situación actual de las comunicaciones en las parroquias rurales del Cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, así como la descripción de la zona geográfica y aspectos socioeconómicos, en base a un estudio de campo a través de encuestas realizadas en las parroquias rurales.

En el capituló 3, se realiza el diseño de la red inalámbrica Mesh en base a los resultados obtenidos en capitulo 2, aquí se determina el número de enlaces, tipo de enlaces, puntos de acceso, cobertura, así como las características técnicas de los equipos necesarios para la implementación de la red.

En el capituló 4, se da un presupuesto referencial para la implementación de la red, en la que se incluye costos de los equipos, infraestructura, mantenimiento y operación, así como una alternativa de las entidades que financiaran el proyecto.

En el capituló 5, se presenta las conclusiones y recomendaciones que se han obtenido en la elaboración del proyecto.

PRESENTACIÓN

Hoy en día el acceso a Internet se ha convertido en una herramienta indispensable para las actividades, laborales, educativas, culturales etc. Pero sin embargo un gran porcentaje de la población urbana no tiene acceso a este medio de comunicación, el problema es aun más crítico en las zonas urbano marginales y rurales de nuestro país, donde el factor costo- beneficio no permite el desarrollo de redes de comunicaciones que permita tener acceso a Internet. El presente proyecto proporciona una nueva alternativa de red para las parroquias rurales del cantón Latacunga en la Provincia de Cotopaxi, que solucione los problemas de costos elevados de implementación y mantenimiento de la red. Para esto se propone el diseño de una red inalámbrica Mesh que tiene ventajas tecnológicas significativas sobre el resto de redes inalámbricas, ya que son fáciles de implementar y requieren de poco mantenimiento.

Las redes Mesh (WMNs) desde el año 2000 han atraído más y más la atención en el mundo de las redes inalámbricas, desde vendedores de hardware hasta ingenieros de software, desde compañías comerciales hasta activistas en las comunidades. Las razones abarcan desde tecnicismos robustos y de fácil implementación a promesas de bajo costo y bajo consumo de energía, y la visión futurista de que cubran ciudades y países enteros. Las redes Mesh han atraído la atención de muchos técnicos interesados en implementar redes comunales, debido a los valores implícitos que estas tienen.

Este documento contiene información teórica sobre los protocolos y arquitecturas de las redes Mesh que ayudarán a comprender de mejor forma el funcionamiento de este tipo de redes, así como la metodología de trabajo seguida para el diseño de la red. Un aporte importante que se hace en este proyecto consiste en la aplicación de estándares IEEE802.11 en largas distancias lo que reduce aun más los costos de implementación de la red, pues los equipos con estándar IEEE802.11 son relativamente baratos comparados con otras soluciones tecnológicas, como por ejemplo Wi-Max, otra ventaja al usar esta tecnología es el uso de bandas de frecuencias libres lo que reduce el problema de adquirir una banda licenciada para que opere la red.

CAPÍTULO 1

1 ARQUITECTURAS Y PROTOCOLOS DE LAS REDES INALÁMBRICAS MESH (WMNs)

1.1 REDES INALÁMBRICAS E IEEE 802.11

La familia de estándares **IEEE 802.11**, ha encontrado una enorme acogida desde que se aprobara la norma 802.11b en el año 1999, se trata de redes de transmisión en modo paquete, normalizadas hasta la sub-capa MAC del nivel de enlace de datos. Es destacable el uso de frecuencias radioeléctricas no sujetas a la concesión de licencias. Concretamente, se sitúan en bandas ISM de 2,4 GHz y 5,8 GHz, lo que abarata considerablemente su costo operativo.

Define tres tipos de medios físicos, modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), que alcanza una velocidad de 2 Mbps, FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) en la banda de 2.4 GHz y luz infrarroja en banda base.
A continuación se describen los distintos estándares que componen la familia IEEE 802.11.

1.1.1 IEEE 802.11a

El IEEE ratificó en julio de 1999 el estándar 802.11a que opera con una modulación QAM-64 y con codificación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que alcanza una velocidad máxima de 54 Mbps en la banda de 5 GHz.

Posee 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto, la utilización de la banda de 5 GHz restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos con línea de vista, lo que hace necesario la instalación de más puntos de acceso. Esto significa también que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

1.1.2 IEEE 802.11b

Conocido como Wi-Fi, fue ratificado en septiembre 1999 y es el estándar principal de redes inalámbricas. Alcanza una velocidad de 11 Mbps estandarizada por el IEEE. Opera dentro de la banda ISM 2,4 GHz para la cual no es necesaria licencia alguna. Emplea modulación DSSS e inicialmente se soportan hasta 32 usuarios por punto de acceso (AP). Este estándar trabaja con niveles de potencia emitida próximos a los 100 mW. Adolece de varios de los inconvenientes que tiene el 802.11a como son la falta de QoS, además de otros como la masificación en la banda, pues a 2,4 GHz funcionan teléfonos, teclados, ratones inalámbricos, dispositivos Bluetooth, etc. Todos ellos fuentes potenciales de interferencias.

1.1.3 IEEE 802.11g

Es una unión de los estándares 802.11 "a" y "b". Contiene cada uno de los tipos de modulación que éstos usan, con la salvedad de que "a" opera en la banda de los 5 GHz, mientras que los otros dos operan en la de los 2.4 GHz.
Compatible con los dispositivos 802.11b, ofrece velocidades de hasta 54 Mbps Funciona dentro de la banda de frecuencia de 2.4 GHz y emplea modulación DSSS y OFDM. Presenta inconvenientes propios del estándar, así como algunos del 802.11b, los niveles de potencia emitida son próximos a los 100 mW.

1.1.4 IEEE 802.11n

En enero de 2004, la IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 500 Mbps, lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes aumente con este nuevo estándar.

1.1.5 IEEE 802.11h

Su objetivo original fue cumplir los reglamentos europeos para redes WLAN en la banda de 5 GHz, que exigen a los productos control de la potencia de transmisión (TPC) y selección dinámica de frecuencia (DFS). El control TPC limita la potencia

transmitida al mínimo necesario para alcanzar al usuario más lejano. DFS selecciona automáticamente el canal de radio en el punto de acceso para reducir al mínimo la interferencia con otros sistemas.

Existen sin embargo limitaciones inherentes a WDS relativas a la seguridad y flexibilidad de las comunicaciones, puesto que los enlaces via radio entre los puntos de acceso han de compartir un mismo canal, esto causa interferencias y degradación del *throughput*[1]. Además, estos enlaces son predefinidos manualmente para una permanencia estacionaria. Se requieren nuevas técnicas si se desea que la interconexión entre equipos sea dinámica y tolerante a fallos.

En este sentido, las redes móviles *Ad Hoc* y las tecnologías Mesh inalámbricas o *Mesh networking* son un área muy activa de investigación y desarrollo.

1.1.6 OTROS ESTÁNDARES

- **802.11c:** Define características de Acces Point como Bridges.
- **802.11d:** Múltiples dominios reguladores (restricciones de países al uso de determinadas frecuencias).
- **802.11e:** Calidad de servicio (QoS)[2].
- **802.11f:** Protocolo de conexión entre puntos de acceso de distintos fabricantes, protocolo IAPP (Inter Access Point Protocol).
- **802.11i:** Seguridad.
- **802.11m:** Mantenimiento de redes inalámbricas.

[1] Rendimiento de la red, lo que significa que mientras más información útil llegue al destino utilizando menos recursos de la red mayor será el rendimiento.

[2] QoS: Es una característica de una red de telecomunicaciones que permite garantizar al cliente una calidad pactada por cada servicio contratado.

1.2 ESTÁNDAR IEEE 802.16 (Wi-Max)

Se trata de una especificación para las redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha publicada inicialmente el 8 de abril de 2002.

Permite la conexión inalámbrica de banda ancha teniendo una amplia área de cobertura. Existen dos variantes practicas de este estándar; la IEEE 802.16d (IEEE 802.16-2004) y la IEEE 802.16e Donde la primera es definida para sistemas inalámbricos fijos. Por ejemplo, Wi-MAX se constituye como alternativa a ser el Backbone para Redes de Distribución Wi-Fi y la segunda para acceso a móviles. Wi-Max, es un estándar de banda ancha elaborado por el comité IEEE 802.16. Suelen llamarlo también, WMAN ya que con esta tecnología se puede alcanzar teóricamente enlaces de hasta unos 50 Km.

1.2.1 IEEE 802.16-2001, PRIMERA VERSIÓN DEL ESTÁNDAR

La primera versión del estándar fue completada en el 2001. Esta versión de Wi-Max considera un rango de espectro mayor a 10GHz (especialmente de 10 a 66 GHz), siendo la línea de vista necesaria, y el direccionamiento utiliza técnicas de multiplexación ortogonal por división de frecuencia (OFDM). Así se soportan canales con un ancho de banda mayor a 10 MHz Este primer estándar consideró la prestación del servicio con las autorizaciones correspondientes (licencias), aunque se utilice un espectro libre de licencia. Además este primer estándar fue diseñado para conexiones punto a punto.

1.2.2 IEEE 802.16a

La actualización de 802.16a, completada en enero del 2003, consideró el rango del espectro de frecuencia de 2 a 11 GHz, utiliza rangos de frecuencia tanto licenciados como no licenciados, además incorpora la capacidad de no línea de vista (NLOS) y características de calidad de servició (QoS). Esta versión da mayores capacidades a la capa de control de acceso al medio o MAC (*medium access control*). Son soportados protocolos como Ethernet, ATM e IP.

1.2.3 IEEE 802.16c

Este estándar se ocupó sobretodo del rango de 10 a 66 GHz, además desarrolla otros aspectos como la evolución de la prueba y ensayo de los posibles perfiles

del sistema. Esto último es un elemento crucial en el juego de herramientas de Wi-Max, porque pasa a constituir un gran acuerdo de opciones disponibles con 802.16 en general. El intento era definir a los fabricantes los elementos obligatorios que se deben considerar para asegurar la interoperabilidad. Los elementos opcionales tales como diversos niveles de los protocolos de la seguridad incorporados permiten que los fabricantes distingan sus productos por precio, funcionalidad y el sector de mercado.

1.2.4 IEEE 802.16d

Las principales características de los protocolos para Wi-Max fijos, mencionados en los puntos anteriores, se han incorporado en 802.16d-2004. Por lo que éste es el reemplazo del estándar IEEE 802.16a. Teóricamente podría transmitir hasta un rango de datos de 70Mbps en condiciones ideales, aunque el rendimiento real podría ser superior a 40Mbps.

Debe tenerse presente que para este estándar se tiene tres tipos de modulación para la capa PHY: modulación con una sola portadora, modulación con OFDM de 256 portadoras y de 2048 portadoras, pero el elegido es OFDM de 256 portadoras, debido a que en el proceso de cálculo para la sincronización se tiene menor complejidad respecto a la utilización del esquema de 2048 portadoras.

1.2.5 IEEE 802.16e

Wi-Max, a las cuales se agrega un soporte robusto para una banda ancha móvil. Mientras no esté completamente fija, la tecnología está basada sobre la tecnología de OFDM. Esta técnica OFDM soporta 2K, 1K, 512 y 128 portadoras. De manera interesante, ambos estándares soportan el esquema de 256-portadoras elegido para IEEE 802.16-2004.

1.3 ARQUITECTURAS Y PROTOCOLOS EN REDES MESH

1.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS REDES INALÁMBRICAS MESH

Las redes inalámbricas Mesh (WMNs) es un tipo de red radical que marca la diferencia en relación con las tradicionales y centralizadas sistemas inalámbricos, tales como las redes celulares y las redes de área local (LAN).

Unas de las características de las redes Mesh es su inherente tolerancia a fallos cuando existe algún problema en la red, incluso cuando varios nodos fallan, la facilidad de implementación de este tipo de red, y una gran capacidad de ancho de banda.

Aunque las redes inalámbricas Ad Hoc son similares a WMNs, los protocolos y arquitecturas diseñados para las redes inalámbricas Ad Hoc funcionan mal cuando se aplican en redes WMNs. Además los criterios de diseño son diferentes para ambas redes. Estas diferencias de diseño se originan principalmente debido a los tipos de aplicación para cada red. Por ejemplo, una red Ad Hoc es generalmente diseñada para ambientes de alta movilidad, por otro lado una red WMNs está diseñada para ambientes de baja movilidad.

Factores como la ineficacia de los protocolos, las interferencias de fuentes externas, compartir el espectro electromagnético y su escasez reducen aún más la capacidad que pueden alcanzar las redes inalámbricas que funcionan en base a sistemas monoradio. Con el fin de mejorar la capacidad de las redes Mesh y poder cubrir la cada vez más alta demanda de tráfico planteadas por las nuevas aplicaciones, las redes Mesh multiradio (MR-WMNs) están bajo intensa investigación. Los recientes avances en redes Mesh se basan principalmente en un enfoque multiradio. Aunque MR-WMNs proveen de mayor capacidad en comparación con redes Mesh monoradio existen todavía inconvenientes y retos que resolver. Las siguientes secciones se enfocan en el estudio, para los dos tipos de redes Mesh.

1.3.1.1 Comparación entre redes inalámbricas Ad Hoc y redes Mesh

Entre las redes Ad Hoc y las redes Mesh. Las principales diferencias entre estos dos tipos de redes son la movilidad de los nodos y topología de la red. Las redes Ad Hoc son redes de alta movilidad, donde la topología de la red cambia dinámicamente. Por otra parte una red WMNs tiene una topología relativamente estable con la mayoría de los nodos fijos. Por lo tanto la movilidad en redes Mesh es muy baja en comparación con las redes Ad Hoc.

CARACTERISTICA	RED AD HOC	RED MESH
TOPOLOGIA DE RED	Altamente dinámica	relativamente estática
MOVILIDAD DE LOS NODOS	De media a alta	Baja
TIEMPO DE SERVICIO	Temporal	Semi permanente o permanente
TIPO DE TRÁFICO	Tráfico de usuario	Típicamente tráfico de usuario y tráfico de control de red
AMBIENTES DE APLICACIÓN	Comunicaciones internas	Comunicaciones internas y externas
IMPLEMENTACIÓN	Fácil	Requiere algo de planificación

Tabla 1.1. Comparación entre redes Ad Hoc y Redes Mesh

Como se puede apreciar en la tabla otra gran diferencia entre estos dos tipos de redes es el escenario de aplicación ya que las redes Mesh son diseñadas para proveer servicios de comunicaciones a bajos costos como son: servicios de internet en zonas relativamente extensas como pueden ser ciudades, barrios, etc., mientras que las redes Ad Hoc se utilizan en ambientes pequeños.

1.3.1.2 Desafíos en redes Mesh

Comúnmente las redes inalámbricas Ad Hoc y las redes Mesh se basan en un solo canal o en un solo interfaz de radio. Las redes Mesh con independencia de su sencillez y alta tolerancia a fallos, se enfrentan a una limitación en cuanto a la capacidad de la red. Un enfoque para mejorar la capacidad de una red Mesh es usar múltiples interfaces de radio. Aunque el límite superior teórico de capacidad no se ve afectada ya que al utilizar múltiples interfaces de radios el ancho de banda se divide para el número de interfaces de radio. MR-WMNs provee varias

ventajas como el aumento de la capacidad de la red, pero también este tipo de red se enfrenta a varios problemas y desafíos que se mensionan a continuación.

1.3.1.2.1 Capacidad

La capacidad alcanzable por los nodos en una red Mesh se limita si utilizamos sistemas de un solo canal en comparación con sistemas multicanal. La tabla 1.2 muestra la variación del rendimiento en la capacidad de una red Mesh. Se puede apreciar que con más de un salto el rendimiento se degrada.

	1er salto	2do salto	3er salto	4to salto	5to salto	Más de 5 saltos
Rendimiento	1	0,47	0,32	0,23	0,15	0,14

Tabla 1.2. Variación del rendimiento en función del número de saltos en una red Mesh

Aunque hay varios factores que contribuyen a la degradación del rendimiento, como características del protocolo MAC, la tasa alta de error presente en canales inalámbricos y factores imprevisibles. Todos estos problemas se ven agravados en sistemas de un solo canal. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 1.1 cuando el nodo 1 transmite al 2 los nodos 2 y 3 no puede iniciar otra transmisión. Ya que el nodo 2 se ve impedido de una transmisión simultánea con el nodo 3 ya que la mayoría de redes WMNs son half-duplex ya que está expuesto a la transmisión en curso con el nodo 1. Esto se conoce como el problema del nodo expuesto que contribuye a la degradación del rendimiento a lo largo de la ruta, hay que considerar que la degradación del rendimiento aumenta hasta llegar a los cinco saltos de ahí en adelante el rendimiento empieza a permanecer constante.

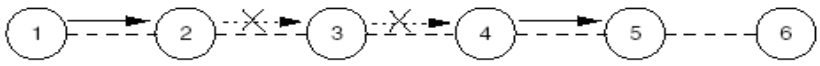


Figura 1.1. Un ejemplo del nodo expuesto en redes Mesh

1.3.1.2.2 Confiabilidad y robustez

Una característica importante que motiva el uso de redes Mesh y sobre todo de las redes MR-WMNs se debe a que mejora la confiabilidad y la robustez de las comunicaciones.

La topología en malla en una red Mesh proporciona una alta confiabilidad, en los sistemas de acceso inalámbrico los errores en el canal pueden ser muy elevados

en comparación con las redes cableadas, por lo tanto se necesita una alta calidad de comunicación durante la transmisión cuando se utiliza un canal inalámbrico.
Esto es muy importante en una red Mesh que utiliza frecuencias sin licencia, para mejorar la confiabilidad de la comunicación se puede emplear la diversidad de frecuencia[3], mediante el uso de múltiples interfaces de radio, lo cual es difícil de lograr en sistemas mono radio. Mientras que en redes MR-WMNs puede lograr mayor tolerancia a fallos en la comunicación, ya sea por cambio de las radios, los canales, o mediante el uso de radios múltiples simultáneamente.

1.3.1.2.3 Gestión de recursos

La gestión de los recursos se refiere a la gestión eficiente de los recursos de la red como son: la energía, el ancho de banda, interfaces, etc. Por ejemplo, el balanceo de carga a través de múltiples interfaces podría ayudar a prevenir que cualquier canal en particular que esté muy saturado pueda convertirse en un cuello de botella esto también podría ayudar para obtener una alta velocidad de transmisión de datos. Una importante ventaja de utilizar un sistema multiradio en una red Mesh es la posibilidad de tener calidad de servicio a través de la diferenciación de servicio.

1.3.1.3 Clasificación de arquitecturas en redes Mesh

Una red inalámbrica Mesh (WMNs) puede ser diseñada basadas en tres diferentes arquitecturas de red:

- Arquitectura plana
- Arquitectura jerárquica
- Arquitectura híbrida

[3] Se transmiten dos frecuencias desde el transmisor y la conmutación se realiza en la banda base de recepción. Como las frecuencias sufren distinto retardo en el enlace, la relación de fase entre los bits antes de la conmutación es variables y por ello se requiere de un circuito desfasador, también variable, que ponga en fase los dos trenes de datos antes de la conmutación.

1.3.1.3.1 Arquitectura plana

En una red plana WMNs, la red está formada por los equipos cliente que actúan como host[4] y routers. En este caso, todos los nodos están al mismo nivel. Los nodos de los clientes inalámbricos coordinan entre sí para proporcionar enrutamiento, configuración de la red, provisión de servicios, y algún otro tipo de solicitud. Esta arquitectura es la más parecida a una red Ad Hoc y es el caso más simple entre los tres tipos de arquitecturas WMNs. La principal ventaja de esta arquitectura es su sencillez, y sus desventajas incluyen la falta de escalabilidad y limitaciones de recursos. Los principales problemas a resolver en el diseño de esta arquitectura WMNs son: esquema de direccionamiento, enrutamiento, servicios. En una red plana, el direccionamiento es uno de los problemas que llegan a impedir la estabilidad.

1.3.1.3.2 Arquitectura jerárquica

En una arquitectura jerárquica, la red tiene múltiples niveles jerárquicos en la que los nodos del cliente forma el nivel más bajo dentro de la arquitectura.

Estos nodos del cliente pueden comunicarse con la red que está formada por routers. En la mayoría de los casos, los nodos WMNs se dedican a forman un backbone de una red troncal WMNs. Esto significa que los nodos que forman el backbone no pueden originar o terminar el tráfico de datos como los nodos del cliente. La responsabilidad de auto-organizar y mantener la red troncal está a cargo de los routers WMNs, algunos de los cuales pueden tener interfaz externa a Internet y a esos nodos se los llama nodos pasarela.

1.3.1.3.3 Arquitectura híbrida

Este es un caso especial de redes jerárquicas WMNs, donde la red WMNs utiliza otras redes inalámbricas para la comunicación. Por ejemplo, el uso de otras infraestructuras tales como las redes celulares, redes Wi-Max, o las redes satelitales.

[4] Aquel dispositivo de la red que ofrece servicios a otros ordenadores conectados a dicha red.

Estas redes híbridas WMNs pueden utilizar múltiples tecnologías tanto para la implementación del backbone como para backhaul[5]. Dado que el crecimiento de WMNs depende en gran medida de cómo trabaja con otras soluciones de red inalámbrica, esta arquitectura se convierte en muy importante en el desarrollo de redes WMNs.

1.3.1.4 Criterios de diseño en redes inalámbricas Mesh multiradio MR-WMNs

Las principales ventajas de utilizar redes MR-WMNs son el aumento de la capacidad, escalabilidad, fiabilidad, robustez, y flexibilidad de implementación. A pesar de las ventajas de utilizar un sistema de multiradio para WMNs, existen muchos desafíos para el diseño de un sistema eficiente MR-WMNs. En esta sección se examinan las cuestiones a tener en cuenta para el diseño de una MR-WMNs. Las principales cuestiones pueden clasificarse en: diseño de la arquitectura, diseño MAC, diseño de protocolos de enrutamiento y diseño de métricas, que se explican a continuación.

1.3.1.4.1 Criterios de diseño arquitectónico

La arquitectura de red desempeña un papel importante para obtener un buen rendimiento de una red MR-WMNs, cuando se diseña una red MR-WMN la arquitectura seleccionada debe tomar en cuenta el tipo de aplicación y el escenario. Las principales opciones de arquitectura para ser consideradas son las siguientes: (a) basada en la topología, (b) basada en la tecnología, y (c) basada en el nodo.

Una MR-WMNs basada sobre la topología, se puede diseñar ya sea como topología plana o topología jerárquica**.** Hay que tomar en cuenta que las posibles soluciones en cuanto a arquitectura es que las tecnologías utilizadas son homogéneas o heterogéneas. Aunque la forma más general para sistemas MR-WMNs son tecnologías homogéneas es decir utiliza un solo tipo de tecnología de

[5] Red de retorno: Conexión de baja, media o alta velocidad que conecta a computadoras u otros equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información. Los backhaul conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación. Un Backhaul es usado para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.

radio como la popular tecnología de conexión inalámbrica IEEE 802.11, es posible desarrollar una red MR-WMNs con tecnologías heterogéneas que utilizan una variedad de tecnologías de comunicación. Por último, la arquitectura basada en el nodo pueden clasificarse dentro de las siguientes: basado en el host, basado en la infraestructura, o redes híbridos MR-WMNs. En el caso de las basadas en host MR-WMNs, la red está formada por los nodos host y tiene una similar operación a la de una red Ad Hoc pero con limitada movilidad. Por otra parte la arquitectura de red MR-WMNs basada en infraestructura está formada por nodos situados en infraestructuras fijas o edificios. Por último una arquitectura de red híbrida MR-WMN que opera tanto basado en infraestructura troncal y host inalámbricos en malla. Estos hosts se comunican a través de backbone inalámbricos en malla. Esta topología de red troncal se puede organizar bien como una topología plana o como una topología jerárquica, en algunos entornos de aplicación, los hosts son móviles y ellos también retransmiten tráfico en beneficio de otros hosts en la red. Un ejemplo de este tipo de red híbrida MR-WMNs es una red WMNs vehicular que se comunica a través de una infraestructura inalámbrica de malla. Por lo tanto, el diseño de un sistema MR-WMNs debe considerar el tipo de aplicación y el entorno de despliegue para la elección adecuada de una arquitectura.

1.3.1.4.2 Diseño para la capa MAC

La capa MAC para MR-WMNs se enfrenta a varios problemas, entre ellos tenemos la interferencia inter-canal[6], interferencia inter-radio[7], distribución del canal, y el diseño de protocolos MAC.

Por ejemplo para la interferencia inter-canal en IEEE 802.11b, aunque hay un total de 11 canales sin licencia en América del Norte (13 en Europa y 14 en Japón), sólo 3 de ellos (los canales 1, 6, y 11 en América del Norte) pueden ser utilizados simultáneamente en cualquier ubicación geográfica. Por lo tanto, la presencia de múltiples sistemas de radios en una misma zona se debe considerar la

[6] Es la interferencia experimentada en un determinado canal, debido a la actividad en los canales vecinos.

[7] Este tipo de interferencia se experimenta en un radio debido a la actividad de canales en otra interfaz en el mismo nodo WMNs.

interferencia inter-canal, esta interferencia con el canal vecino, dará lugar a una degradación significativa del rendimiento.

La interferencia inter-radio se debe principalmente al diseño de los componentes de hardware y de la propia interfaz. La separación física de las interfaces pueden ayudar a evitar este problema en cierta medida, en algunos casos la separación puede ser difícil, especialmente en nodos móviles.

Otra cuestión de importancia para MAC es el canal de distribución. Se trata de un proceso en que la asignación de canales sin interferencia daría lugar a un rendimiento alto y un buen acceso al medio. El canal de distribución debe considerar el número de canales disponibles y el número de interfaces disponibles. Por último, la cuestión más importante es el diseño de protocolos MAC. Esta disponibilidad de múltiples interfaces y múltiples canales que conducen a nuevos diseños para protocolos de acceso que deben beneficiar la presencia de múltiples radios.

Algunos ejemplos de estos protocolos son: MCSMA, ICSMA, 2P-TDMA. Estos protocolos utilizan simultáneamente múltiples canales y también tratan de resolver la cuestión de acceso a los medios en MR-WMNs.

1.3.1.4.3 Diseño de protocolos de enrutamiento

El diseño de protocolos de enrutamiento depende del diseño de la arquitectura de la red WMNs y que en algunos casos, también depende de la aplicación de la red y del entorno de despliegue. El Diseño de protocolos de enrutamiento se puede clasificar en varias categorías: (a) la topología de enrutamiento, (b) enrutamiento en el backbone y (c) la información de mantenimiento de enrutamiento.

Sobre la base de la topología de enrutamiento, los protocolos de enrutamiento se pueden diseñar ya sea para un solo nivel o protocolos de enrutamiento jerárquico. En el enrutamiento jerárquico, una jerarquía de enrutamiento se construye entre los nodos de tal manera que la responsabilidad de encaminamiento se delega a los nodos de mayor nivel jerárquico cuando el nivel de nodos de inferior jerarquía no puede establecer la ruta. Por otra parte en un sistema de enrutamiento de un solo nivel no tiene incorporadas las jerarquías y cada nodo tiene la misma

responsabilidad para encontrar un camino para el destino y participar en el proceso de encaminamiento. El camino elegido puede incluir cualquier nodo en la red sin seguir ningún orden jerárquico. La segunda categoría de diseño se basa en el encaminamiento de rutas troncales y la topología de enrutamiento híbrido.

1.3.1.4.4 Diseño de métricas de enrutamiento

Una métrica de enrutamiento es una técnica utilizada por los ruteadores para aprender rutas y mantenerlas actualizadas conforme cambia la red, y su función principal es el intercambio de información de ruteo con otros ruteadores, la información de ruteo se encuentra en las tablas de ruteo.

Las métricas incluyen ancho de banda, costo de la comunicación, retraso, número de saltos, costo de la ruta y confiabilidad. Contar los saltos es la más simple métrica de enrutamiento y es una métrica de enrutamiento aditivo. Debido a las características especiales de una red WMNs.

La métrica de enrutamiento desempeña un papel crucial en el desempeño de un protocolo de enrutamiento y el diseño de métricas de enrutamiento debe tomar en cuenta varios factores, como (a) la arquitectura de red, (b) el entorno de red, (c) la dimensión de la red, (d) las características básicas del protocolo de enrutamiento, con el fin de diseñar un eficiente protocolo de enrutamiento para WMNs.

1.3.1.4.5 Topología de control de la red

Topología de control se define como la capacidad de manipular tanto los parámetros de la red como la ubicación de los nodos, la movilidad de los nodos, la energía, las propiedades de la antena, y las interfaces de red. La topología de control tiene la capacidad de modificar ya sea una sola vez los parámetros durante la actividad de la red, en la fase de inicialización o como una actividad periódica durante el tiempo de funcionamiento de la red. El uso eficaz de la topología de control de la red puede ayudar a mejorar la capacidad. Los objetivos de los mecanismos de topología de control son la conectividad, la capacidad, fiabilidad, tolerancia a fallos y la cobertura de la red.

1.3.1.5 Soluciones multiradio para la capa enlace

La escalabilidad de la red es el más importante problema que afecta en gran escala a una red WMNs. Las razones principales detrás de la falta de escalabilidad en una red WMNs son las siguientes: (a) el carácter half-duplex de los radios WLAN, (b) las colisiones debido al problema del terminal oculto[8], (c) la pérdida de recursos debido a problemas del nodo expuesto y (d) las dificultades en el manejo de un sistema multicanal. Algunos de los problemas antes mencionados pueden ser resueltos por una MR-WMN. Existen varias soluciones de capa de enlace tales como protocolo de unificación multiradio (MUP) que se analizan a continuación.

1.3.1.5.1 Protocolo de unificación multiradio [MUP]

El MUP es una solución de capa de enlace para proporcionar una capa virtual que controla múltiples interfaces de radio a fin de optimizar el uso del espectro en una red MR-WMNs. Los principales objetivos de diseño del protocolo MUP son los siguientes: (a) reducir al mínimo las modificaciones de hardware, (b) evitar hacer cambios en los protocolos de capa superior.

El MUP proporciona una única interfaz virtual a las capas superiores ocultando las múltiples interfaces físicas y canalizar mecanismos de selección para escoger un canal adecuado para la comunicación entre nodos. MUP es implementado en la capa enlace y por tanto las capas superiores no necesitan experimentar ningún cambio para utilizar de forma eficiente múltiples interfaces de radio. El diagrama de arquitectura MUP se muestra en la figura1.2.

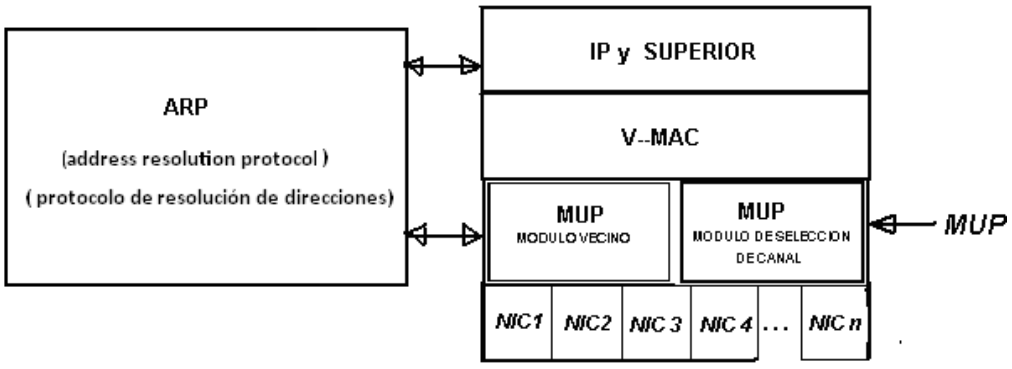


Figura1.2. Una representación de la arquitectura MUP

[8] Un terminal o nodo no es capaz de detectar la presencia de otro terminal en la red. Dado que en redes CSMA el método de acceso múltiple requiere la detección de portadora para determinar el estado del medio.

Una de las principales tareas que hace la capa MUP es vigilar la calidad del canal entre un nodo y sus vecinos de tal manera que el nodo puede elegir la mejor interfaz para comunicarse con un nodo vecino. Con el fin de virtualizar múltiples interfaces de radio con una dirección MAC diferente, MUP utiliza una dirección MAC virtual que oculta eficazmente las múltiples direcciones físicas que tiene cada tarjeta de red inalámbrica. Esto hace que la capa física aparezca para las capas más alta como una única interfaz.

MUP emplea dos diferentes esquemas para la selección de interfaces de radio, estos esquemas son llamados MUP-Random y MUP-Channel-quality. De acuerdo con el esquema MUP-Random que es el esquema básico, un nodo al azar elige una interfaz para la transmisión de un paquete hacia un nodo destino. El esquema MUP-channel-quality está diseñado para mantener la información del estado del canal (conocida también como calidad métrica del canal) este esquema escoge entre algunos nodos y elige el mejor canal basado en mensajes de sondeo de información del estado del canal. El uso de mensajes de sondeo permite a la capa MUP obtener información sobre el estado del canal.

MUP consta de dos modulos: a) módulo vecino y b) módulo de selección de canal. El módulo vecino proporciona tablas y el estado de los canales de nodos vecinos. El módulo MUP de selección de canal elige el canal más adecuado. Cada nodo elige y mantiene la información de calidad del canal para todas las interfaces mediante el intercambio de mensajes de sondeo. El retardo del viaje de ida y vuelta experimentado por el mensaje de sondeo es utilizado como canal de observación de la calidad de la métrica. Este retardo de viaje de ida y vuelta incluye el retardo debido al protocolo MAC de contención, la carga de tráfico, las interferencias en el canal, las colisiones de paquetes, y el retardo de procesamiento entre los nodos finales. Con el fin de reducir el retardo, que en general podría ser muy alto en un nodo que tiene gran carga, MUP proporciona una alta prioridad para los paquetes de sondeo ya sea colocando el paquete a la cabeza de los demás paquetes mediante el uso de mecanismos de prioridad definidos en los protocolos MAC tales como IEEE 802.11e.

Las ventajas de MUP son las siguientes: (a) puede trabajar con nodos que tengan una interfaz única o múltiple interfaces, (b) aísla a las capas superiores de

conocer los protocolos que manejan múltiples interfaces de radio, y (c) mejora la eficiencia del espectro y el rendimiento del sistema. Algunas de las desventajas son las siguientes: (a) la asignación de canales es ordinaria y, por lo tanto MUP no podrá hacer uso de los mejores canales disponibles, (b) la exigencia de prioridad para los paquetes de sondeo, hace a MUP inutilizable en redes WMNs basadas en estándares IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE802.11g, debido a que el protocolo MAC utilizado en estos estándares no permite el uso adecuado de multiples interfaces y (c) MUP decide cual canal utilizar en un nodo local y este canal a veces puede que no sea el más óptimo sobre los otros canales disponibles, esto afecta en la utilización adecuada de los recursos globales de la red. Otra cuestión con MUP es la asignación de canales para nuevos nodos que entran en funcionamiento en la red, para una red que tiene múltiples canales, se hace necesario el reinicio de todo el sitema, para determinar cuáles son los canales que se asignarán a las interfaces de los nuevos nodos con el fin que estos puedan comunicarse con el resto de la red.

1.3.1.6 Protocolos de control de acceso al medio para MR-WMNs

El diseño de protocolos MAC es importante en una red MR-WMNs en comparación con redes WMNs de un solo radio a causa de problemas adicionales que esta enfrenta. Aquí se presenta algunas de las recientes propuestas para protocolos MAC en redes MR-WMNs. Estos protocolos son los MCSMA, ICSMA.

1.3.1.6.1 Acceso múltiple por detección de portadora multicanal (MCSMA)

El protocolo MAC MCSMA es similar al sistema FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia). En este protocolo el ancho de banda disponible se divide en anchos de banda más pequeños para tener n+1 canales, es decir, n canales de datos y un canal de control. Esta división es independiente del número de nodos en el sistema. Un nodo que tiene paquetes para ser transmitidos selecciona un canal óptimo de datos para su transmisión. Cuando un nodo está inactivo, es decir, no transmite paquetes de información, monitorea todos los n canales de datos y todos los canales por los cuales a recibido el TRSS (total received signal strength = total de intensidad de la señal recibida), el TRSS se estima por la suma de componentes individuales de señal de múltiples rutas, los

canales que tienen un TRSS por debajo de ST (sensing threshold = sensibilidad del umbral) son marcados como canales inactivos. Cuando un canal está inactivo durante un determinado tiempo, se añadirá a la lista de canales libres. El mecanismo de transmisión de paquetes con el protocolo MCSMA es el siguiente. Cuando un nodo potencial está en la capacidad de enviar y recibir paquetes de datos, comprueba en su lista de canales, si existe algún canal libre, el transmisor comprueba si el canal por el cual transmitió con éxito el último paquete está incluido en la lista de canales libres, se iniciará la transmisión por este canal. Si la lista de canales libres está vacía, espera a que un canal esté inactivo. Tras detectar un canal inactivo, el transmisor espera por un LIFS (long interframe space = gran espacio interframe), seguido por un acceso aleatorio back-off. Después del período de back-off el transmisor comprueba nuevamente el canal, y si el canal está aún inactivo, se inicia la transmisión por ese canal. En el caso que el último canal utilizado para la transmisión no esté presente en la lista de canales libres, el transmisor elige al azar un canal entre los canales inactivos, incluso en estos casos, el transmisor espera a que el canal siga inactivo durante el tiempo LIFS más el período de back-off, si después de este tiempo el TRSS del canal supera al ST, entonces el proceso de back-off se cancela, cuando el TRSS del canal va por debajo de ST se inicia la transmisión. Si un canal está siendo ocupado para una transmisión exitosa, se da prioridad a otro canal para poder entablar la transmisión, siempre y cuando n> N, donde n es el número de canales de datos y N es el número de nodos de la red.

1.3.1.6.2 Acceso múltiple por detección de portadora intercalado (ICSMA)

El ICSMA es un nuevo protocolo multicanal de acceso al medio. Está diseñado para superar el problema del terminal expuesto, que está presente en los sistemas de un solo canal, basados en sensar portadoras de los protocolo MAC, en una topología similar a la que se muestra en la figura 1.3

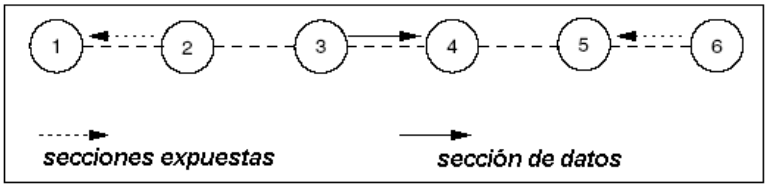
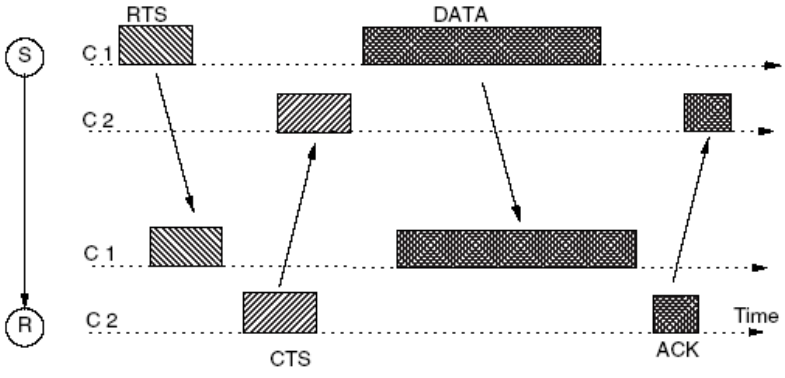


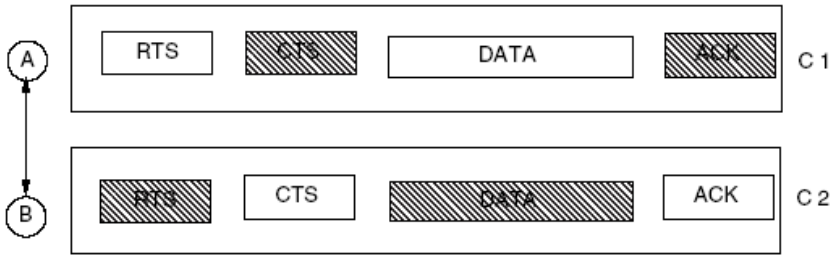
Figura 1.3 motivaciones detrás del protocolo ICSMA

Cuando existe una transmisión en curso entre los nodos 3 y 4, los otros nodos en la red es decir los nodos 2 y 6 no están autorizados a transmitir a los nodos 1 y 5 respectivamente. Esto se debe a dos razones: (a) ninguna transmisión simultánea del nodo 2 es posible por su propio mecanismo de sensar portadora y (b) el reconocimiento de los paquetes recibidos por el nodo 3 también puede colisionar por la transmisión del nodo 2. Del mismo modo el nodo 6 es impedido para la transmisión porque el reconocimiento de los paquetes originados por el nodo 5 que podrían colisionar con la recepción de los paquetes de datos del nodo 4. Por lo tanto, los nodos 2 y 6 son designados como transmisor-receptor respectivamente.

ICSMA es un sistema de dos canales de intercambio de paquetes. En comparación con el esquema CSMA/CA, el protocolo de proceso es intercalado entre los dos canales. Por ejemplo en la figura 1.4a, si un remitente RTS transmite en el canal 1 y si el receptor está dispuesto a aceptar la petición, envía la correspondiente CTS en el canal 2. Si el emisor recibe el paquete CTS, comienza la transmisión de paquetes de datos sobre el canal 1. En el receptor, si el dato es recibido con éxito, responde con paquetes ACK en el canal 2. Figura 1.4 ilustra el funcionamiento intercalado de ICSMA cuando un nodo (S) envía un paquete RTS a un nodo receptor (R). En la figura 1.4b muestra la capacidad de transmisión simultánea entre los nodos A y B.



a) Paquetes intercalados para transmitir en ICSMA



b) Transmisión simultánea entre dos nodos

Figura 1.4. Operación del protocolo ICSMA

Este mecanismo, intercalado de la portadora aumenta el rendimiento alcanzado por los dos canales WMNs. El protocolo ICSMA utiliza una amplia red de distribución de vectores ENAV para determinar si un canal en particular está libre para su transmisión. ENAV es una forma extendida de NAV utilizados para CSMA/CA.

1.3.1.7 Protocolos de enrutamiento multiradio para redes Mesh

Además del diseño de la arquitectura y del diseño del protocolo MAC, el rendimiento de una red WMNs y de una red MR-WMNs se ven afectadas por el diseño del protocolo de enrutamiento y las métricas de enrutamiento.

1.3.1.7.1 Métricas de enrutamiento para MR-WMNs

Al escoger la mejor métrica de enrutamiento en una red WMNs, se debe considerar ciertos factores que afectan el rendimiento de la red; y son los siguientes: (a) retardo inducido por la carga, (b) la asimetría de los enlaces inalámbricos, y (c) la gran pérdida de enlace.

La nueva métrica (ETX) (transmisión esperada) se considera una buena métrica de enrutamiento que alcanza un alto rendimiento. Las métricas de enrutamiento ETX están diseñadas para encontrar un camino basado en (a) la distribución de los paquetes en cada uno de los enlaces, (b) la asimetría de los enlaces inalámbricos, y (c) número mínimo de saltos. Las ventajas de esta métrica son el ahorro de energía y la utilización eficiente del espectro.

La métrica de enrutamiento ETX ayuda a los protocolos de enrutamiento como: DSR y DSDV para encontrar un camino que proporcione un mejor rendimiento. Esta métrica de enrutamiento ETX tiene una propiedad adicional; puede

incorporarse dentro de otras métricas de enrutamiento, tradicionalmente basadas en el camino más corto y en la demanda. La ETX de un enlace es el número esperado de transmisiónes con éxito, para ello es necesario la transmisión de un paquete más sobre el enlace. La ETX de un extremo a extremo se define como la suma de las ETX de cada uno de los enlaces de ese camino. ETX de un enlace se calcula con la siguiente ecuación:

$$ETX = \frac{1}{FDR * RDR} \qquad [Ec.\ 1.1]$$

Donde:

FDR (forward delivery ratio) relación de entrega hacia delante.

RDR (reverse delivery ratio) relación de entrega inversa.

El FDR es el valor estimado de probabilidad de que un paquete de datos sea recibido con éxito en el receptor durante un determinado enlace. Del mismo modo, el RDR es la estimación de probabilidad de que el paquete ACK sea recibido con éxito en el transmisor. En la ecuación 1.1 el producto de FDR por RDR, representa la probabilidad de una transmisión exitosa de un paquete de datos.

El valor de ETX de un enlace, proporciona el porcentaje del número de intentos en la transmisión para enviar un paquete con éxito en un determinado enlace.

1.3.1.7.2 Calidad del enlace multiradio de enrutamiento de origen (MRLQSR)

MRLQSR es una extensión del protocolo DSR, está diseñado para trabajar con MR-WMNs. La principal contribución de MRLQSR es el uso de una nueva métrica de enrutamiento llamado: ponderado acumulado de espera de tiempo de transmisión WCETT. El WCETT intenta evitar caminos más cortos de enrutamiento en una red MR-WMNs. Los principales módulos en el protocolo MRLQSR son los siguientes: (a) un módulo vecino de descubrimiento, (b) módulo de asignación del enlace, (c) módulo para la propagación de la información y (d) módulo buscador de caminos. Los módulos vecino de descubrimiento y módulo para la propagación de la información son similares a las del protocolo DSR mientras que los módulos asignación de enlaces y buscador de caminos difieren de DSR. Mientras que DSR asigna igual peso a

todos los enlaces, MRLQSR asigna enlaces amplios a caminos con un buen performance. El enlace asignado por el MRLQSR es proporcional a la cantidad esperada de tiempo necesario para transmitir con éxito un paquete a través del enlace. Este tiempo de espera depende esencialmente de la relación velocidad de transmisión de datos y de la tasa de pérdida de paquetes. Además, mientras que DSR utiliza un camino más corto de enrutamiento basado en saltos, MRLQSR usa WCETT como la métrica de enrutamiento.

La principal filosofía de diseño detrás de las métricas de enrutamiento WCETT es obtener un enlace indicador que nos indique el porcentaje de pérdida y el ancho de banda de un enlace, considerando la interferencia cocanal[9].

La principal ventaja de MRLQSR es el rendimiento mejorado en comparación con el rendimiento alcanzado por otras métricas de enrutamiento para multiradio como la ETX. Esta ventaja de rendimiento se deriva del hecho de que MRLQSR considera el mejor camino, el retardo de extremo a extremo y el rendimiento para un conjunto de caminos. Esto lleva a la conclusión que WCETT en más eficiente que la métrica de enrutamiento ETX en alrededor del 80%. Uno de los inconvenientes más importantes es que MRLQSR no considera la interferencia de los canales vecinos. Además, el uso de múltiples radios en un solo nodo pueden consumir más energía y la métrica de enrutamiento se encargará de utilizar de mejor forma la energía cuando se utiliza en redes WMNs móviles esto puede hacer que la eficiencia MRLQSR se reduzca cuando se utiliza en una red WMNs con movilidad limitada. Aunque WCETT no puede formar bucles de enrutamiento cuando se utiliza con protocolos de enrutamiento bajo demanda como el DSR.

1.3.2 REDES MESH MULTIRADIO Y MULTICANAL

La relación costo-beneficio de las tecnologías de acceso inalámbrico tales como IEEE 802.11 ha cambiado las comunicaciones y la informática de manera importante. Su éxito es debido a su despliegue en el hogar y en la pequeña empresa, donde se tiene cobertura limitada y sirve a sólo unos pocos usuarios a la vez. Actualmente existe un considerable interés en la ampliación de redes IEEE

[9] Cuando dos nodos con cobertura solapada operan en el mismo canal, o cuando desde un cliente se escucha tráfico de otro en el mismo canal se produce lo que se conoce como interferencia cocanal.

802.11 a gran escala empresarial, para proporcionar una cobertura amplia y de banda ancha para el acceso a un número significativo de usuarios. Esto requiere de una proliferación de puntos de acceso (AP) en el área de cobertura deseada, bajo el estándar IEEE 802.11 con conjuntos de servicios básicos (BSSs). Para aumentar el alcance de la red (por ejemplo, entre un cliente y AP) se basa en reutilizar el espacio de frecuencias, asignándoles un conjunto de canales ortogonales de manera sistemática. El valor de la señal de interferencia y ruido (SINR)(signal to interference noise ratio) en el extremo del BSS, junto con las propiedades inherentes del protocolo de la función de coordinación distribuida (DCF), determinan esencialmente el rendimiento obtenido en el BSSs.

La expansión de la red y el rendimiento global sobre el de área de cobertura se puede lograr mediante una combinación de enfoques como el uso de antenas directivas; con esto lo más evidente que se logra es el aumento de la disponibilidad de ancho de banda en los sistemas (esto es equivalente a más canales ortogonales). Actualmente, sólo un número limitado de este tipo de canales ortogonales están disponibles: 3 en IEEE 802.11b (2,4 GHz) y 12 en IEEE 802.11a (5 GHz), está claro que el aumento de ancho de banda para la ampliación no es una opción viable. Por consiguiente para aumentar el rendimiento de la red se requiere necesariamente de mejorar toda la pila de protocolos.

Una opción prometedora para ampliar la capacidad de una red de acceso inalámbrico es configurar la capa 2, que actualmente está previsto dentro del grupo de trabajo IEEE 802.11s. Esto implica una directa interconexión inalámbrica de un conjunto de nodos en malla para formar una red multihop[10]. Estos nodos forman parte de los APs que permiten el acceso directo de los clientes, así como " routers " los cuales retransmiten solo paquetes entre otros elementos de malla similar a una red Ad Hoc. Para el diseño de redes de mayor cobertura se debe modificar los mecanismos de topología, entre ellos el control de la energía y asignación de canales (CAs).

[10] El término es usado para indicar que la fuente de información conectada a un nodo origen es transportada a través de la red hasta el nodo destino utilizando paquetes de datos que pueden ser reenviados a través nodos intermedios

Tradicionalmente las redes inalámbricas multihop (históricamente denominado redes de paquete de radio) están compuestos casi exclusivamente de un solo radio, estas redes no están en condiciones de escala efectiva para explotar los crecientes sistemas de ancho de banda disponible. En consecuencia, el uso de nodos de múltiples radios en una red Mesh, parece ser una de las vías más prometedoras para la expansión de la red. Varios radios aumentan en gran medida el potencial para mejorar la selección del canal y la información de ruta, mientras la malla controla la interferencia y la topología de control permite controlar la potencia.

1.3.2.1 Arquitectura Mesh en 802.11

Se puede construir redes WMNs utilizando productos básicos de hardware IEEE 802.11. Sin embargo, antes de que esas redes pueden llegar a ser parte de los principales despliegues, se deben resolver algunas cuestiones como son: seguridad, QoS y gestión de redes.

Muchos de estos problemas son propios de cualquier red WMNs y no sólo de redes WMNs en base a IEEE 802.11.

La creciente disponibilidad de radios multimodo, integrados en las tarjetas 802.11a/b/g, de los clientes y dispositivos de infraestructura, permitirá implementar nuevas arquitecturas en malla. Los nodos en una malla para una red de acceso consta de dos tipos como se muestran en las figuras 1.5.a/b, un ligero predominio de puntos Mesh cuya única función es el enrutamiento de los paquetes de forma inalámbrica a los nodos vecinos y a otros subconjuntos de nodos Mesh APs que permiten la conexión directa con el cliente. Una pequeña fracción de estos nodos Mesh APs estarán conectados por el cable del backbone y sirven como puertas de entrada o de enlace para el tráfico de ingreso / salida.

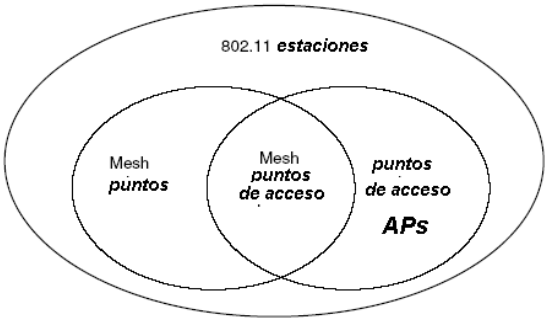


Figura 1.5.a Representación esquemática de los dos tipos de nodos Mesh: APs y puntos Mesh

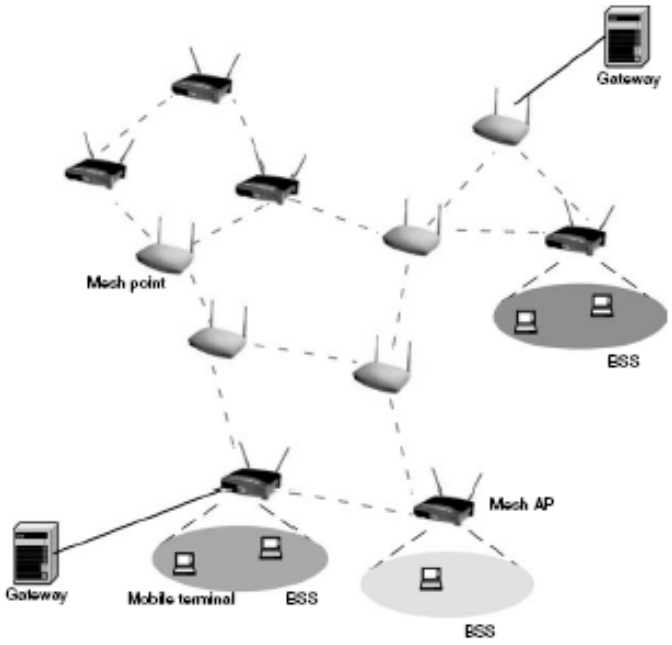


Figura 1.5.b. Dos niveles de arquitectura de red Mesh.

1.3.2.2 Capacidad de expansión

El aumento del rendimiento de extremo a extremo está relacionado con un aumento de los saltos, que a su vez depende del número de transmisiónes simultáneas por canal, esto se puede conseguir a través de muchos factores, como puede ser la topología de red y varios atributos de los protocolos de pila de las capas 1, 2 y 3. Los atributos de la capa 1 incluyen el tipo de radio, requisitos del SINR en el receptor para la detección fiable y la propagación de la señal en medio ambiente. Los atributos de la capa 2 incluyen control de acceso al medio MAC, atributos para controlar las interferencias y los atributos de la capa 3 incluyen la elección de las métricas de enrutamiento para determinar la mejor ruta. De este modo, la optimización global de la red requiere de un enfoque

multidimensional, propuesta en el siguiente enfoque. En orden aparece la capa IP como una simple red de área local, una red Mesh puede aplicar su propia funcionalidad de enrutamiento y otros servicios a la capa “2.5”, es decir, como una capa intermedia entre el estándar IEEE 802.11 MAC (o bajo MAC) y la capa IP. La figura 1.6 ilustra esto para un nodo con dos radios.

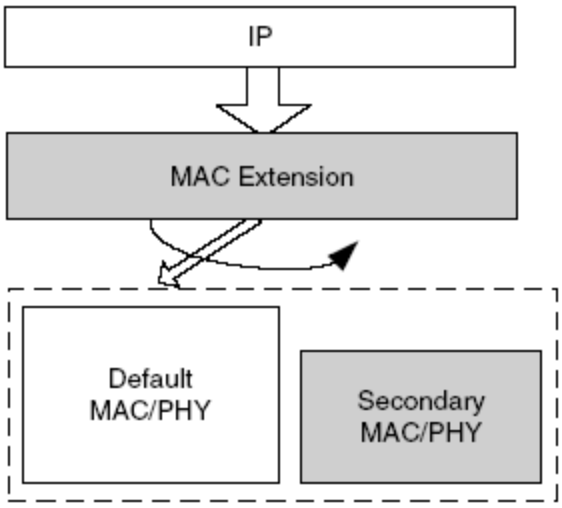


Figura 1.6: Ilustración del uso de una capa intermedia “2,5” para el correcto funcionamiento de la red Mesh.

1.3.2.2.1 Redes Mesh Multicanal de un solo radio

Cualquier ruta de extremo a extremo en una red multihop deben utilizar todos los canales ortogonales disponibles, una manera de mejorar el rendimiento de la red es maximizar la reutilización espacial, es decir, maximiza el número de transmisiónes simultáneas en el área de la red. Desafortunadamente existe una limitación en los dispositivos inalámbricos de un solo radio y es que operarán solamente en modo half-duplex, y por lo tanto no puede transmitir y recibir simultáneamente, incluso si múltiples canales estan disponibles. Un posible enfoque multihop es la formación de rutas para todos los nodos que utilizan el mismo canal, aunque varios canales están disponibles, sin embargo, evita el inconveniente de los grandes retardos de extremo a extremo cuando los nodos adyacentes utilizan diferentes canales de comunicación.

Esta última requiere el escaneo de canales para realizar la conmutación y una radio activa tal que dos nodos adyacentes comparten un mismo canal, lo que retarda la conmutación por nodo. Por ejemplo, el retardo de conmutación varía

para el hardware en IEEE 802.11 desde unos pocos milisegundos a unos cientos de microsegundos. Esta frecuencia de conmutación de canales puede considerarse como una vía eficaz debido a que el retardo de conmutación se manifiesta como un salto virtual a lo largo de la ruta. De ahí que, aprovechando los múltiples canales ortogonales claramente se mejora el rendimiento global con respecto a la hipótesis de un solo canal, pero a costa de aumentar el retardo de extremo a extremo.

Por todas estas razones las red Mesh multiradio introducen varios y nuevos grados de libertad con respecto a la limitación de dispositivos inalámbricos de un solo radio, se espera que los dispositivos multiradio sean un componente clave en lograr escalabilidad y adaptabilidad (como un software definido para las múltiples radios) para las futuras redes inalámbricas.

1.3.2.2.2 Redes Mesh Multiradio

Los nodos con múltiples radios son efectivamente full dúplex, es decir, que puedan recibir en el canal C1 en una interfaz mientras simultáneamente se transmite en el canal C2 en otra interfaz, con lo que se duplica el rendimiento en el nodo.

La asignación de canales tiene una gran influencia en el rendimiento de extremo a extremo, al igual que la elección de métricas de enrutamiento para la formación de ruta. En resumen con buen diseño de las capas 1, 2, 3, aumenta el rendimiento de redes Mesh multiradio así como su tamaño.

1.3.2.3 Criterios para el uso de radios

Empezamos con un exámen de las posibles políticas de uso de radio que determinan cual radio en un nodo se utiliza para transmitir a un nodo en particular y cuando se obliga a la radio de un canal en particular. La aproximación más simple para vincular los canales a las interfaces es utilizar una vinculación estática. En este enfoque, cada interfaz está asignado a un canal cuando el sistema se inicia y se mantiene permanentemente sintonizado a ese canal. En las redes modernas se utiliza una conmutación que tiene la tarea de asignación de canales para las interfaces en cada nodo. La ventaja fundamental de utilizar vinculación estática es que no requiere ningún cambio en el actual estándar IEEE

802.11. Sistemas más complejos exigen un cierto nivel de coordinación entre los nodos, generalmente a través de una modificación del protocolo MAC.
En redes MRMC (Multiradio Multicanal) el radio a usar para comunicarse con un nodo vecino pasa a ser interesante en el caso que cuando dos nodos vecinos tienen más de un canal en común, pueden comunicarse a través de más de una interfaz.

El protocolo multiradio de unificación (MUP) (multiradio unification protocol) combina múltiples interfaces disponibles en una única interfaz lógica que se ha visto por la capa superior. EL MUP transmite datos a través de sólo uno de los interfaces disponibles, además selecciona la interfaz con el más bajo tiempo de ida medido a través de un paquete de reconocimiento. Se muestra que en los casos donde la reordenación de los paquetes causa una importante pérdida de rendimiento, MUP puede mantener un alto rendimiento.
Enfoques híbridos (o mixtos), donde una interfaz se sintoniza a un canal fijo, mientras que la otra interfaz está cambiando dinámicamente a otros canales. Uno de ellos se describe que tiene un interfaz fijo en cada nodo sintonizado a cualquiera de los canales disponibles, y la elección del canal se comunica a los vecinos con un protocolo de capa superior.

Cuando un nodo desea enviar un paquete a su vecino, cambia una de sus interfaces dinámicas para el canal fijo de los vecinos y transmite el paquete. De este modo, el canal fijo para cada nodo representa el canal deseado para la recepción en ese nodo. Esta política se ilustra en la figura 1.7 para el caso de tres interfaces por nodo.

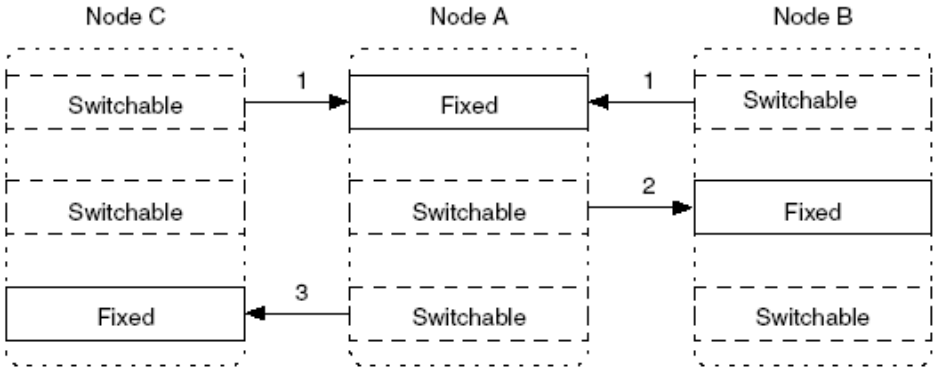


Figura 1.7: Políticas de uso en una radio híbrida en que cada nodo utiliza una interfaz fija para la recepción de paquetes.

1.3.2.4 Asignación de canales y enrutamiento

En una topología típica, algunos de los nodos Mesh sirven como puertas de enlace, y el tráfico desde o hacia estos portales pueden ser mucho más elevado que en otros lugares en la red. La carga de tráfico en cada enlace se ve afectada por la elección de los protocolos de enrutamiento, así como por las métricas de enrutamiento. En una red WMNs, cuando un flujo se dirige por un determinado enlace, no sólo reduce la capacidad disponible de ese enlace, sino también la capacidad disponible en otros canales. Esto se debe a que todos los enlaces dentro del canal comparten el mismo ancho de banda total para sus transmisiónes.

La discusión anterior pone en manifiesto que existe una estrecha relación entre CAs y el enrutamiento en redes de malla. Por lo tanto, con el fin de maximizar el rendimiento. Los dos problemas deben ser tratados conjuntamente. Sin embargo, en la práctica el problema común es generalmente difícil de resolver óptimamente. Un enfoque para el problema común es resolver la asignación de canales y los problemas de enrutamiento e iterar sobre las dos fases para mejorar el rendimiento global.

1.3.2.4.1 Asignación básica de canal

El problema básico de CAs se puede plantear en términos de asignación de canales, garantizando al mismo tiempo que dos nodos vecinos tienen por lo menos un canal común (lo que asegura que los nodos vecinos puedan comunicarse).

Un método de asignación aleatorio de canales para radios puede que no sea factible. Consideremos, por ejemplo, una red en la que todos los nodos tienen dos radios y asignar uno de los cuatro canales a cada una al azar. Si algún nodo está asignado los canales 1 y 2, y su vecino se le asigna canales 3 y 4 esto lleva a que los dos nodos no tienen un canal en común, y la sesión no es factible.

El objetivo de varios algoritmos CAs es la posibilidad de elegir un canal que mejor optimice el rendimiento, a continuación presentamos uno de estos algoritmos.

1.3.2.4.2 Programación lineal entera

Un enfoque para la obtención de un óptimo CAs es plantear el problema como una programación lineal entera (ILP)[11] (integer linear program). El objetivo es maximizar el número de transmisiónes simultáneas. La solución resultante maximiza el rendimiento alcanzable en forma instantánea. Si bien una ILP a base de la formulación puede dar soluciones óptimas usando software estándar ILP, el necesario tiempo de ejecución para encontrar la solución óptima puede ser muy alto, incluso para un modesto tamaño de redes. Sin embargo, se da por concluida la búsqueda después de un cierto tiempo.

1.3.2.4.3 Métricas de enrutamiento

La métrica más simple de enrutamiento, cuenta los saltos (el camino más corto), y ha sido ampliamente utilizado en los actuales protocolos de enrutamiento Ad Hoc. Sin embargo estos protocolos funcionan mal en las redes de malla. Una perfeccionada métrica es la métrica ETX (contar con la expectativa de transmisión). La métrica ETX asigna un peso a cada uno de los enlaces que corresponden, con el número esperado de transmisiónes requeridas por el 802.11 MAC, para transmitir con éxito un paquete sobre el enlace. Estas ETX asignan un peso superior a los enlaces que están sujetos a una alta pérdida de paquetes. Esta es una mejora con respecto al enfoque de contar saltos, sin embargo, no cuenta el hecho de que los diferentes enlaces pueden usar diferentes anchos de banda o la reutilización del mismo canal a lo largo de un camino lo que reduce la capacidad disponible. La métrica ETT (expectativa de tiempo de transmisión). Aborda el problema de múltiplexación de ETX por el tiempo que necesita para cada transmisión.

1.3.2.4.4 Enfoques conjuntos

El enfoque CAs descrito anteriormente considera efectivamente un sistema en el que todos los enlaces llevan la misma carga de tráfico. Si bien esto puede constituir una referencia útil, si la demanda de tráfico en la red son conocidas,

[11] Es un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, constituyendo un importante campo de la optimización por varias razones, muchos problemas prácticos de la investigación de operaciones pueden plantearse como problemas de programación lineal, tales como los problemas de flujo de redes.

entonces puede incorporarse una CAs y dos procedimientos de selección de ruta con el fin de mejorar el rendimiento global de la red. Las mejoras pueden ser en forma de aumento de la capacidad de la red, o reducir los retardos para una red específica. Desde el caso de tráfico de carga uniforme en cada enlace se puede ver como un caso especial de la carga y de rutas, es evidente que la obtención de soluciones óptimas en el caso general será difícil. En consecuencia, diversos enfoques se han propuesto, por lo general la participación del CAs y el problema del enrutamiento.

1.3.3 REDES MESH BASADAS EN IEEE 802.11

IEEE 802.11 se ha convertido en el estándar de facto para el hogar, empresa y el despliegue de redes de área local inalámbricas (WLANs). La mayoría de estos despliegues operarán en el modo de infraestructura, donde un conjunto de puntos de acceso (AP) sirven de centros de comunicación para estaciones móviles y proporcionan puntos de acceso a Internet. El papel actual de IEEE 802.11 se limita a los clientes móviles que se comunican a través de AP. Las economías de escala hacen que IEEE 802.11 sea una alternativa deseable incluso para interconectar estos APs en forma de una malla de red inalámbrica (WMN) como se muestra en la Figura 1.8

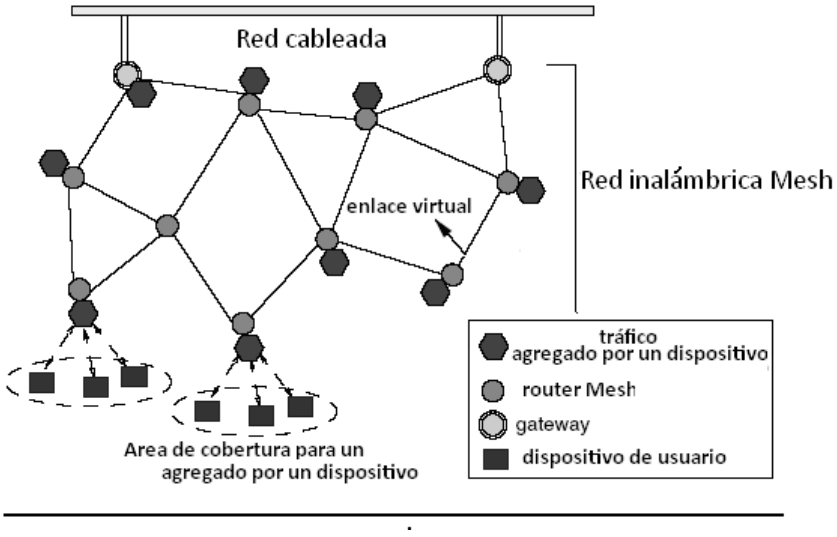


Figura 1.8: EL núcleo de una red MESH; al cual está conectada una red cableada a través de un conjunto de gateways. Cada nodo WMNs tiene un radio interface que es usado para comunicarse con otros nodos WMNs a través de enlaces como se muestra. Un nodo WMNs

es equipado con un dispositivo (similar a un access point) que interactúa con las estaciones móviles individuales. Las estaciones móviles retransmisoras WMNs agrega tráfico de datos hacia y desde la red cableada

Para satisfacer aplicaciones, IEEE 802.11 soporta dos modos de funcionamiento: el modo Ad Hoc que con un solo salto en la red los nodos Ad Hoc se comunican entre sí directamente, sin la utilización de un AP. EL segundo modo es el sistema de distribución inalámbrica (WDS), modalidad para la formación de transmisión punto a punto donde cada AP no sólo actúa como una estación base, sino también como un nodo retransmisor inalámbrico. Sin embargo, una red IEEE 802.11 pueden utilizarse para formar una eficaz red WMNs.

El rendimiento, la seguridad y la gestión son cuestiones que deben ser abordadas. Desde el punto de vista de rendimiento, el rendimiento bajo de extremo a extremo es un problema común en redes WMNs basados IEEE 802.11.

1.3.3.1 Problemas de rendimiento y sus causas

1.3.3.1.1 Capacidad limitada

A pesar de los muchos avances de la tecnología para la capa física (inalámbrica), la limitada capacidad sigue siendo una cuestión apremiante, incluso para redes WLAN de un solo salto. La publicidad de 54 Mbps de ancho de banda para el hardware IEEE 802.11a/g es el pico de velocidad de transmisión de datos. Además, la máxima velocidad de transmisión en la capa enlace decrece rápidamente al aumentar la distancia entre el transmisor y el receptor.

1.3.3.1.2 La interferencia intraflujo e interflujo

La cuestión del ancho de banda es aún más grave para redes WMNs donde con el fin de mantener la red conectada a todos los nodos opera sobre el mismo canal de radio. Esto resulta en una interferencia sustancial de las transmisiónes entre nodos adyacentes en la misma ruta, así como en las rutas adyacentes la reducción de la capacidad de extremo a extremo de la red. Figura 1.9 representa un ejemplo de tal interferencia.

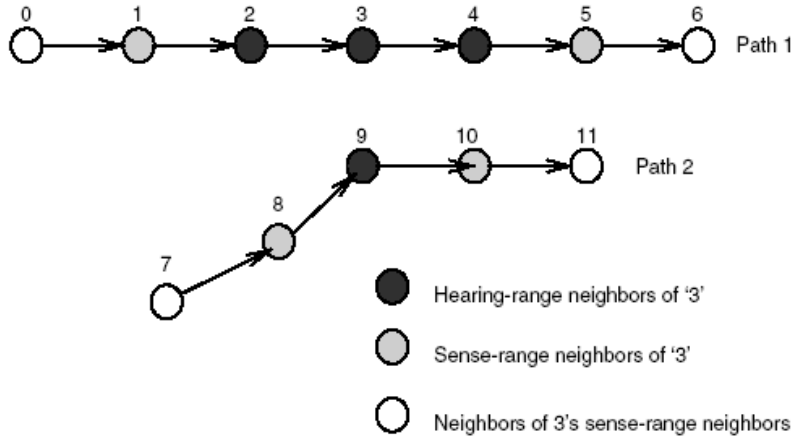


Figura 1.9: Interferencia intraflujo y interflujo en un solo canal en una red Ad Hoc. Los nodos 1, 2, 4 y 5 están en el rango de interferencia nodo 3, y por tanto, no puede transmitir/recibir cuando el nodo 3 se activa. Los nodos 8, 9, y 10 que pertenecen a otra ruta también entran en el rango de interferencia del nodo 3. Por lo tanto ninguno de los enlaces inalámbricos que se muestra en la figura puede operar simultáneamente cuando el nodo 3 transmite al nodo 4.

1.3.3.1.3 Selección efectiva de ruta

La más simple métrica de enrutamiento para redes WMNs, es la métrica de contar los saltos. Sin embargo, el uso de esta métrica de contar los saltos conduce a una selección no fiable de ruta. En primer lugar, contar los pequeños saltos se traduce en más tiempo y por tanto tendencia a más errores de salto individual. En segundo lugar esta métrica no hace nada para equilibrar la carga de tráfico a través de la red. Esto reduce la capacidad efectiva de la red WMNs.

1.3.3.1.4 Control del overhead[12] en TCP

El problema de la limitada capacidad se agrava por el protocolo de control de transmisión (TCP) que no utiliza eficazmente el ancho de banda disponible. Primero dado las características de TCP obliga a enviar un paquete de reconocimiento con cualquier clase de paquete, estos paquetes consumen ancho de banda considerable (hasta el 20%) debido al alto y fijo overhead por paquete en redes inalámbricas IEEE 802.11. En segundo lugar, cuando un paquete se pierde entre los saltos, la estrategia de TCP de extremo a extremo es la

[12] Bytes adicionales que retransmiten por cada paquete como son: bytes de direccionamiento, control etc. Y que se ve reflejado en más tiempo de cálculo, consumo de ancho de banda.

retransmisión del paquete por todo el camino de nuevo. Esto conduce a un desperdicio del ancho de banda.

1.3.3.1.5 Ineficaz control de congestión

La congestión en TCP se basa en eliminar paquetes perdidos para detectar la congestión de la red. En las redes inalámbricas, sin embargo, los paquetes también se eliminan debido a errores. TCP no distingue entre estos errores poco frecuentes y los paquetes que producen la verdadera congestión. Según la condiciones del canal este puede dar lugar a una importante caída de rendimiento de la red.

1.3.3.1.6 El problema del terminal oculto

Es bien conocido que la capa MAC IEEE 802.11 exhibe el problema del nodo oculto que causa un enlace inalámbrico de transmisión sea rechazado por otro enlace de utilidad para la transmisión. Mientras los mensajes RTS/CTS en el protocolo MAC 802.11 efectivamente detiene un nodo oculto que interfiere con una comunicación permanente en curso, no puede impedir que el nodo oculto inicie secuencias de mensajes RTS/CTS en tiempos inoportunos sufre largos tiempos de retardo debido a la ejecución del algoritmo de back-off. TCP agrava este problema de flujo porque el remitente TCP promueve el algoritmo de back-off cuando sus paquetes tardan mucho tiempo en llegar a través de los enlaces inhibidos. Como resultado, un flujo TCP que atraviesa por un enlace y puede ser totalmente suprimido en el peor de los casos.

1.3.3.1.7 El problema de compartir el canal

Los protocolos de transporte existentes hacen el mejor intento de asignar un canal de radio con un ancho de banda específico, entre los flujos de un solo nodo, en lugar de entre todos los flujos de todos los nodos que comparten el canal de radio. Como resultado, un flujo emana de un nodo con menos densidad y con un ancho de banda de canal grande.

La equidad de TCP depende en gran medida del tiempo de ida y vuelta (RTT) de los flujos involucrados, cuando dos flujos multi salto TCP comparten el mismo

enlace inalámbrico, los flujos que atraviesa un número de saltos, tiende a adquirir más de ancho de banda. Si bien esto es cierto incluso para las operaciones de TCP en la internet por cable, el problema es mucho más frecuente en una red WMNs. En una red WMNs la mayor parte del tráfico se dirige hacia y desde los nodos gateway (nodos de puertas de enlace) que conectan una red WMN al Internet por cable.

1.3.3.2 Alto rendimiento de enrutamiento

El enrutamiento gobierna y regula el flujo de paquetes a través de la red WMNs. Mientras más rutas cortas de enrutamiento, reduce al mínimo la cantidad de ancho de banda utilizado en la red para transferir los paquetes, no considera factores importantes, tales como errores de enlace (enlaces críticos), la inteligente selección de las rutas en base de estos factores pueden no sólo mejorar la calidad de la ruta elegida para el actual flujo de paquetes, sino también permitir la admisión de paquetes con más carga en la red.

Existen diferentes técnicas de enrutamiento que están todavía en estudio como son:

- Enrutamiento vigilante de la calidad del enlace
- Enrutamiento vigilante de la interferencia
- Enrutamiento multicamino
- Enrutamiento vigente de la diversidad
- Enrutamiento oportuno

1.3.3.3 Redes Mesh multicanal

El estándar IEEE 802.11b/g y el estándar IEEE 802.11a proporcionan 3 y 11 canales, respectivamente, que podrían ser utilizados simultáneamente con un nodo adyacente. La posibilidad de utilizar múltiples canales aumenta sustancialmente la eficacia del ancho de banda disponible para los nodos de la red inalámbrica. Sin embargo, una arquitectura convencional WMNs equipa cada nodo con una sola interfaz, que siempre está sintonizada a un canal único con el fin de preservar la conectividad. Para utilizar múltiples canales dentro de la misma

red, cada nodo necesita tener capacidad de conmutación de canal o estas necesitan múltiples interfaces, cada uno sintonizado, para operar en un canal diferente. La conmutación de canal requiere de una eficaz sincronización entre los nodos en el momento en que cualquier nodo transmite o recibe en un canal en particular. Un posible esquema es tener a todos los nodos de conmutación entre todos los canales disponibles en algún orden predeterminado. Aquí una interfaz cambia entre los canales disponibles en diferentes slots de tiempo, de forma aleatoria Los nodos que deseen comunicarse esperan una ranura de tiempo donde sus interfaces están en el mismo canal.

Estas secuencias no son fijas y pueden alterarse. La ventaja de este sistema es que el tráfico de carga es equilibrada en todos los canales disponibles en general logra la reducción de interferencias. Sin embargo, dicha sincronización es difícil de conseguir sin modificar la capa MAC 802.11. Por lo tanto, utilizar routers WMNs multiradio es un enfoque más prometedor para formar redes WMNs multicanal basadas en IEEE 802.11.

La asignación de canales para interfaces de radio juega un papel importante en el aprovechamiento de la capacidad de ancho de banda de esta arquitectura multiradio. Por ejemplo, una idéntica asignación de canal para todos los nodos limita sustancialmente el rendimiento que es posible alcanzar para arquitecturas de un solo radio.

El objetivo de canalizar la asignación del canal es reducir las interferencias mediante la utilización de tantos canales como sea posible, manteniendo al mismo tiempo la conexión entre nodos. En esta sección, se discuten las diferentes técnicas propuestas para llevar a cabo la asignación inteligente de canal.

1.3.3.3.1 Asignación del canal basada en la topología

La asignación del canal puede hacerse exclusivamente sobre la base de la topología de la red, con el objetivo de reducir al mínimo la interferencia en el enlace. El problema es computacionalmente difícil de conseguir, por lo que las soluciones propuestas son aproximadas.

Una de las soluciones se revisa a continuación. El algoritmo denominado,

conexión de baja interferencia de asignación de canal (CIICA) revisa todos los nodos en el orden de calidad del canal, los nodos de menor calidad son visitados primero. Al visitar un nodo los canales se eligen y se escoge el nodo local con el canal óptimo, el objetivo es reducir al mínimo la interferencia que se ejerce entre enlaces.

Existen otras soluciones para asignación de canal en redes Mesh basadas en IEEE 802.11

- Asignación de canales mediante vigilancia de tráfico
- Asignación dinámica de canal

1.3.3.3.2 Interferencia Inter-canal

En experimentos que se han realizado con hardware 802.11, se analiza la interferencia entre dos tarjetas en la misma máquina. El grado de interferencia depende de las posiciones relativas de las tarjetas. La colocación de tarjetas en la parte superior derecha de cada uno lleva al máximo de la interferencia, y sólo alcanza un máximo del 20% de ganancia, la pérdida del rendimiento debido a la interferencia intercanal se encontró independencia de bandas, es decir, la degradación fue casi la misma cuando el canal 1 y 6 se utilizó en comparación con el caso, cuando el canal 1 y 11 fueron utilizados. Se sospecha que esta interferencia surge debido a los filtros imperfectos presentes en las tarjetas.

Este resultado tiene implicaciones sobre la colocación de varias tarjetas en la misma máquina. Las fugas electromagnéticas de las tarjetas es necesario tener en cuenta, y una posición adecuada de la tarjeta debe encontrarse para reducir al máximo la interferencia entre tarjetas.
Una posible forma de lograrlo es usar tarjetas USB con antenas externas en vez de tarjetas PCI/PCMCIA.

1.3.3.4 Equidad de flujo

Un gran reto en redes Mesh IEEE 802.11 es asignar eficientemente el ancho de banda entre varios flujos en competencia. Como ya se discutió la capa MAC en

IEEE 802.11 no distribuye equitativamente los flujos. A continuación se analiza uno de los criterios para la asignación adecuada de flujos.

1.3.3.4.1 Tasa implícita basada en el control de la congestión

WTCP[13] es una modificación basada en TCP, utiliza una tasa basada en el control de congestión. Mide la relación entre el espaciamiento entre los paquetes del receptor y el transmisor, para determinar si aumentar o disminuir la tasa de transmisión. Si existe un cuello de botella a lo largo de la ruta este es reflejado en el retardo entre paquetes en el receptor. Si la velocidad de transmisión de envío es inferior al ancho de banda disponible, los paquetes recibidos mantienen un costante espaciamiento. En caso contrario, los paquetes de prueba que se utilizan para determinar el estado del enlace podrían acumularse uno detrás de otro lo que aumentaría el espaciamiento entre paquetes, por lo tanto el rendimiento del enlace bajaría. Este método asume que todos los flujos en la red son atendidos en estricto orden de llegada en un cuello de botella para un enlace determinado. Esta hipótesis no se sostiene en redes WMNs basadas en el estándar IEEE 802.11, ya que la transmisión de paquetes en enlaces inalámbricos tiende a ser a través de ráfagas, el tráfico de ráfagas que llegan al cuello de botella de un enlace llegan sin espaciamiento entre paquetes.

1.4 PROTOCOLOS EN LAS REDES MESH

Según los modelos de la capa OSI y TCP/IP, la funcionalidad de la asignación de ruta está localizada en la capa 3, la capa de gestión de redes que normalmente usa el protocolo de Internet (IP). Hay esfuerzos para desarrollar protocolos de asignación de ruta para las redes Mesh en la capa 2. Aunque esto "viola" el concepto de la capa red actual, se espera obtener los siguientes beneficios: acceso más rápido y a más información del estado de la capa 2 y de la capa física.

[13] Protocolo de control de transmisión Inalámbrico, es un proxy basado en la modificación de TCP y se utiliza en redes inalámbricas para mejorar el rendimiento de TCP, mejora significativamente la capacidad de las conexiones TCP, debido a su característica única de ocultar el tiempo dedicado por la estación base local para recuperarse de errores de enlace .

El enrutamiento en capa 2 es más difícil de llevar a cabo, la información adicional sobre la estructura de la red, las direcciones IP no están disponibles en las direcciones MAC[14], y es más difícil de hacer entre redes heterogéneas. No obstante, las ventajas del acceso a las capas más bajas aumentarán la fiabilidad de las redes Mesh inalámbricas debido a las reacciones más rápidas y apropiadas a los cambios del ambiente de los radio canales.

Los conceptos para la selección de la ruta son los mismos, tanto para la capa 3 o la capa 2. El último sólo usa las direcciones MAC. También significa que algunos mecanismos, hasta ahora desconocidos en capa 2, tengan que ser introducidos: tiempo de vida útil (TTL), dirección de la fuente y destino como los saltos a través de la ruta inalámbrica multihop[15].

1.4.1 REQUISITOS DE ENRUTAMIENTO EN LAS REDES WMNs

Un protocolo de asignación de ruta óptimo para redes WMNs debe cumplir con lo siguiente:

- **Tolerancia a fallos:** un problema importante en las redes es la supervivencia, que es la capacidad de la red para funcionar en caso de que un nodo falle. De la misma manera los protocolos de enrutamiento también deberían permitir una nueva selección de ruta en caso de fallas.

- **Balanceo de carga:** los routers inalámbricos Mesh son recomendados en el balanceo de carga porque ellos pueden escoger la ruta más eficaz para los datos.

- **La reducción del Enrutamiento overhead:** la conservación del ancho de banda es indispensable en el éxito de cualquier red inalámbrica. Es importante reducir la asignación de ruta overhead, sobre todo el causado por la retransmisión.

- **Escalabilidad:** una red mallada es escalable y puede ocuparse miles de nodos, ya que el funcionamiento de la red no depende de un punto mando central.

[14] Medium Access Control. Control de Acceso al Medio. En redes de emisión (broadcast), es el método para determina que dispositivo tiene acceso al medio de transmisión en un tiempo dado.

[15] Sistema de Propagación por saltos sucesivos.

- **QoS:** debido a la limitada capacidad del canal, la interferencia es un factor muy importante, el gran número de usuarios y las aplicaciones multimedia en tiempo real, apoyada por la calidad de servicio (QoS) se ha vuelto un requisito indispensable en redes de computadoras.

1.4.2 ENRUTAMIENTO MULTICAMINO PARA BALANCEO DE CARGA Y TOLERANCIA A FALLOS

Una red mallada se basa en caminos múltiples entre los nodos de la red ya que es más robusta contra alguna falla de un nodo o varios nodos. Pueden agregarse más nodos a la malla para aumentar la redundancia.

La selección de caminos múltiples entre el nodo fuente y el nodo destino, ayuda, por ejemplo, cuando un enlace está roto y la información que cruzaba por este enlace puede atravesar por otra ruta sin esperar un nuevo enrutamiento esto reduce notablemente retardo de extremo a extremo y aumenta el rendimiento. También ayuda equilibrar la carga para prevenir la congestión y el tráfico alrededor de los nodos congestionados.

1.4.3 ENRUTAMIENTO CON QoS

El enrutamiento de las redes inalámbricas multihop con QoS, necesita mantener un ancho de banda que garantice los requerimientos de la conexión y sin que la ruta se sienta afectada por la interferencia de otras rutas en la red.

Hay dos tipos diferentes de interferencia en una red multihop inalámbrica: la interferencia interflujo y la interferencia intraflujo. Para una ruta P, la interferencia interflujo ocurre cuando un enlace de P usa el mismo canal con otro enlace que no es de P dentro de su rango de interferencia; y la interferencia intraflujo ocurre cuando dos enlaces de P dentro de su rango de interferencia utilizan el mismo canal.

1.4.4 CLASIFICACIÓN

La tarea principal del protocolo de enrutamiento es la selección de la ruta entre el nodo fuente y el nodo destino. Esto tiene que ser hecho fiablemente, rápido, y

con mínimo overhead.

En general, los protocolos de enrutamiento pueden ser clasificados según la topología y la posición, como se puede apreciar en la figura 1.10. Los protocolos según la topología selecciona la ruta basada en la información tales como el estado de los enlaces entre nodos, mientras que los protocolos de enrutamiento según la posición se basan en la información geográfica con algoritmos geométricos.

Los protocolos de enrutamiento según la topología se dividen en reactivo, proactivo e híbridos. El protocolo reactivo (AODV) sólo selecciona una ruta cuando se necesita, esto reduce el control overhead pero introduce un tiempo de latencia[16] para el primer paquete en ser enviado. En la asignación de ruta proactivo (OSPF, OLSR), cada nodo tiene su ruta establecida durante todo el tiempo de transmisión, no hay ninguna latencia, pero el mantenimiento permanente de rutas incrementa el control de overhead.

Los protocolos de asignación de ruta híbridos (HWMP) intentan combinar las ventajas de ambas filosofías: el proactivo se usa para nodos cercanos, mientras el reactivo se usa más para nodos distantes.

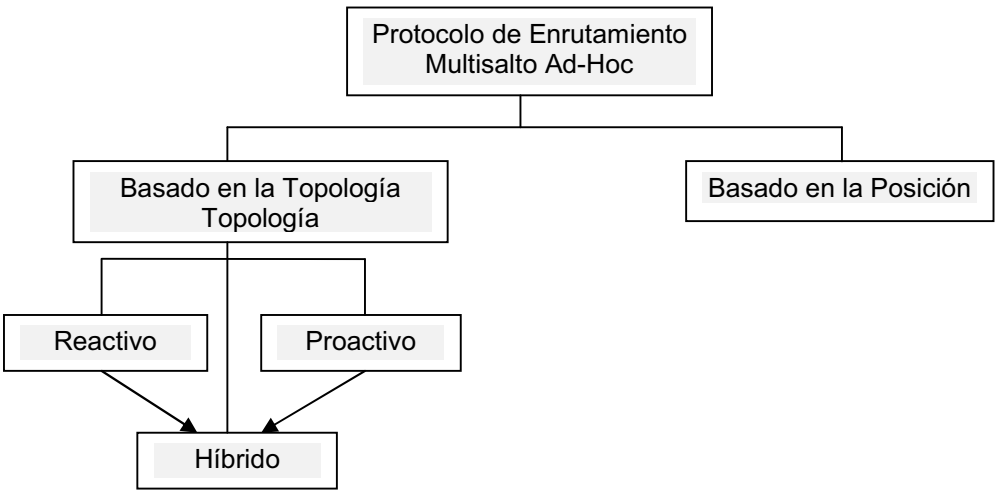


Figura 1.10: Clasificacion de los protocolos de enrutamiento

En principio, las redes mesh pueden emplear cualquier protocolo de asignación de ruta de cualquiera de las clases descrito antes. Sin embargo no todos los

[16] Retraso de los paquetes a lo largo de su camino.

protocolos trabajan bien en este tipo de redes. La selección de un protocolo de enrutamiento que asigne la ruta conveniente depende del entorno de aplicación y de los requerimientos de rendimiento de la red.

Las redes WMNs, no dependen de infraestructura física por lo que la comunicación viene dada por los sistemas de radio de los equipos. Para que se produzca esta comunicación entre los equipos, estos deben trabajar como routers[17], pero este enrutamiento es mucho más complejo que en las redes fijas. Este problema se intenta resolver mediante un gran número de algoritmos y protocolos de enrutamiento.

Hay un gran número de algoritmos dado que esta tecnología está aún en investigación y se buscan soluciones desde vías muy diferentes, lo que da como resultado la aparición de un gran número de protocolos, los cuales se definen con características muy diferentes entren si.

1.4.4.1 Canal único/Multicanal

Esta es una propiedad de capa 2. Hay protocolos en los que todos los nodos comparten el mismo canal de comunicación. Lo que significa que todas las comunicaciones pasan por el mismo canal disminuyendo la velocidad de la red. El control acceso al medio en IEEE802.11 utiliza el protocolo CSMA/CA con reconocimiento y un tiempo de *back off* aleatorio que sigue una condición de medio ocupado. El protocolo CSMA/CA de 802.11 se diseñó para reducir la probabilidad de colisión entre los múltiples intentos de acceso al medio. Las múltiples estaciones están esperando que el medio este libre y cuando lo está todas las estaciones intentan acceder al mismo tiempo. Por lo tanto se utiliza una distribución *back off* aleatoria para poder minimizar los conflictos en el medio. Hay protocolos que especifican el canal de comunicación como: AODV, OLSR.

En cambio, otros protocolos utilizan CDMA, FDMA o TDMA para poder especificar el canal. En este caso la comunicación es mucho más eficiente porque se puede trabajar con velocidades más altas pero en contra se tiene que controlar mediante las estaciones la asignación de canales.

[17] Dispositivo de hardware para interconexión de red de computadoras.

1.4.4.2 Uniforme/No uniforme

Esta característica básicamente nos permite indicar si todos los nodos de la red tienen las mismas especificaciones, características y roles, en cuyo caso es uniforme. Un protocolo no uniforme indica que hay nodos de la red con características distintas, lo cual significa que hay nodos con roles distintos.

Estos roles pueden venir dados por el hecho de que la red esté dividida en diferentes clústers[18] y hay un nodo de este clúster que es el principal o incluso hay un nodo gateway[19], como por ejemplo el protocolo OLSR.

1.4.4.3 Topología jerárquica/Enrutamiento con Clúster

La idea de utilizar clúster en las redes es para intentar dar una estructura a este tipo de redes. Estos clúster habitualmente tienen un nodo principal dedicado, que es el encargado de indicar a los nodos cercanos a qué clúster pertenecen y de este modo estructurar la red. Estos nodos principales aparte de ser informados de la conexión y desconexión de nodos también se encargan de ser las puertas de unión entre los diferentes clúster. Se debe mencionar que en muchos casos los clúster tienen diferentes capas jerárquicas, en este tipo de protocolos se envía información más frecuentemente a los nodos que se mueven rápidamente o a los que están más cerca.

El problema de los clúster es que el nodo principal y el gateway tienen que trabajar con mucha información y se pueden convertir en el cuello de botella de la red, ya que si todos los nodos de la red pretenden enviar información a otro nodo, toda esta información tratará de salir por el mismo nodo. Además de reanudar la comunicación, estos nodos también gastarán mucha más energía que los otros, lo que puede suponer un problema en nodos que trabajen con fuentes autónomas de alimentación.

[18] Grupo de múltiples computadores unidos mediante una red de alta velocidad.

[19] Dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación.

1.4.4.4 Protocolos basados en posicionamiento

Estos protocolos se basan en la idea de que no es necesario mantener tablas de enrutamiento y por lo tanto no es necesario el overhead debido al mecanismo de descubrimiento o mantenimiento de rutas. En cambio, necesitan saber la posición de los destinatarios de la información, ya sea mediante un protocolo interno de descubrimiento, o por un servicio de localización externo que obligará a mantener información de posicionamiento.

Otro tipo de protocolos son los que se basan en inundación, en los que se debe conocer aproximadamente la zona del nodo destino y entonces se envían los paquetes a todos los nodos que estén en la dirección de la zona destinataria, de este modo no se tienen que enviar los mensajes a todos los nodos vecinos. Cabe mencionar que hay protocolos híbridos que para distancias largas utilizan enrutamiento direccional, es decir, se basan en conocer la dirección en la que se encuentra el nodo y se transmite en esa dirección. Pero para los nodos cercanos no se utiliza ningún mecanismo basado en localización.

1.4.4.5 Proactivo/Enrutamiento bajo demanda

Un protocolo de enrutamiento puede mantener la información bajo demanda (reactiva), es decir, actualiza su información de enrutamiento a medida que es necesaria. Este tipo de protocolo no necesita que todos los nodos tengan la información de enrutamiento en todo momento, sino que la actualizará a medida que la necesita. Lo que se pretende conseguir es que la red inalámbrica no tenga una gran carga de señalización innecesaria. Se puede considerar muy útil cuando la información viaja a menudo por rutas muy parecidas.

Estos protocolos necesitan saber al menos el primer salto que deben hacer, si no lo conocen se debe hacer un broadcast[20] hacia todos los nodos vecinos, esta estrategia sólo se puede utilizar en los primeros saltos, si se utilizara en exceso se inundaría la red, lo que no es conveniente. Los paquetes no se empiezan a enviar hasta que la ruta no está especificada, esto supone un retraso en el envío de los primeros paquetes. Una vez la ruta está finalizada, se debe guardar en caché la

[20] Es cuando la información llega a todos los nodos.

tabla de enrutamiento durante un período de tiempo, una vez que pasa este tiempo la ruta se invalida.

Los protocolos proactivos, al contrario que los reactivos (bajo demanda), intentan mantener toda la información de enrutamiento correcta en todos los nodos de la red en cada momento. Estos protocolos también se pueden dividir en dos clases: los que tratan eventos y los que se actualizan de manera regular.

Los que trabajan con eventos no envían paquetes de actualización hasta que no hay un cambio en la topología de la red. En cambio, en el caso de actualización regular, la información se retransmite cada cierto tiempo. La ventaja de este tipo de protocolos es que no necesitan un tiempo para crear la ruta, por el contrario añaden mucha más carga a la red.

1.4.4.6 Información de topología reducida/completa

Esta información es muy difícil de evaluar porque, aunque la mayoría de protocolos transmiten información de la topología de la red, no todos transmiten información completa sobre la estructura de la red.

1.4.4.6.1 Uso del enrutamiento fuente

Algunos protocolos de enrutamiento utilizan enrutamiento de fuente, esto significa que el envío depende de la fuente, es decir, que la fuente pone la información en la cabecera de la información de enrutamiento.

1.4.4.6.2 Uso de los mensajes de broadcast

Los mensajes Broadcast en una red inalámbricas tiene distintos significados, están los "full netwide broadcast" lo que significa que el mensajes llega a todos los nodos de la red y es necesario que algunos sean retransmitidos por nodos intermedios. Por el contrario están los "local broadcast" que envía los mensajes a todos los nodos vecinos, no se hacen retransmisiónes. También se debe mencionar que algunas veces también hay broadcast limitados en los que se establece un número máximo de saltos (TTL).

1.4.4.7 Estrategia de selección de ruta

Este es uno de los aspectos más importantes de los protocolos de enrutamiento obviamente, hay que tener en cuenta que puede haber muchas maneras de elegir la estrategia. Las más conocidas y utilizadas son las siguientes:

- **Intensidad de señal:** encamina los paquetes a través de la conexión siguiendo los que tienen la señal más fuerte.
- **Estabilidad de conexión:** los paquetes viajan por los nodos que parecen más estables durante un período de tiempo.
- **Camino más corto/Estado de la conexión:** Selecciona el camino más corto siguiendo algunas métricas como la calidad del enlace.
- **Vector de distancia:** método de vector de distancia común, normalmente basado en la cuenta de saltos.
- **Encaminamiento direccional:** encamina hacia la dirección geográfica del destinatario, usado en los protocolos de localización.

1.4.5 AODV (AD HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR)

Este protocolo permite el enrutamiento dinámico, autoarranque y multihop entre todos los nodos móviles que participan en la red. AODV permite a todos los nodos obtener las rutas rápidamente para nuevos destinos y no requiere que los nodos mantengan las rutas hacia los destinos que no están activos en la comunicación.

El protocolo de enrutamiento está diseñado para redes móviles ad hoc con gran cantidad de nodos y con distintos grados de movilidad. Este protocolo se basa en que todos los nodos tienen que confiar en los otros para transportar sus datos, utilizando mecanismos para evitar la participación de nodos intrusos.

Una característica distintiva de este protocolo es el uso del número de secuencia para cada ruta. Este número de secuencia es creado por el destino para ser incluido con la información necesaria para los nodos que requieren la información.

El uso de estos números de secuencia implica que no se creen bucles[21] y facilita la programación.

Este protocolo define tres tipos de mensajes: Route Requests (RREQs), Route Replies (RREPs) y Route Errors (RERRs). Estos mensajes se reciben vía UDP[22].

Mientras todos los nodos tengan las rutas correctas de cada nodo, el protocolo no intercambia mensajes ni tiene ninguna otra función. Cuando una ruta hacia un nuevo destino es necesaria, el nodo que la necesita envía una mensaje broadcast RREQ que llega al destino, o a un nodo intermedio que tiene una ruta suficientemente "fresca" hacia el destino. Una ruta es "fresca" cuando el número de secuencia hacia el destino es como mínimo tan grande como el número que contiene el RREQ. La ruta se considera disponible para el envió de un mensaje RREP hacia el nodo que originó el RREQ.

Los nodos monitorean el estado de las conexiones de los nodos. Cuando una conexión se rompe en una ruta activa, se envía un mensaje RERR para notificar a los otros nodos la pérdida de la conexión.

Este protocolo tiene una tabla de rutas. La información de la tabla de rutas debe guardarse incluso para las rutas de corta vida. Los campos que tiene cada entrada de la ruta son los siguientes:

- IP de destino.
- Número de secuencia de destino.
- Interfaz de red.
- Contador de saltos.
- Salto siguiente.
- Listado de precursores.
- Tiempo de vida.

[21] Sentencia que se realiza repetidas veces a un código.

[22] UDP no ofrece una comunicación fiable, pero es un protocolo sencillo, con poca carga de cabecera, aporta una buena funcionalidad para aplicaciones en tiempo real.

1.4.5.1 Mantenimiento de números de secuencia

Cada entrada de la tabla de cada nodo debe incluir la última información sobre el número de secuencia para la dirección IP del nodo destino. Este número de secuencia se llama “número de secuencia de destino”. Se actualiza cada vez que un nodo recibe nueva información del número de secuencia por los mensajes RREQ, RREP o RERR. Este protocolo depende de que cada nodo de la red mantenga su propio número de secuencia de destino para garantizar que no haya bucles. Un nodo destinatario incrementa su propio número de secuencia en dos circunstancias:

- Inmediatamente antes que un nodo origine la búsqueda de una ruta, debe incrementar su propio número de secuencia.
- Inmediatamente antes que el nodo destino origine un mensaje RREP como respuesta a un RREQ, este nodo debe actualizar su número de secuencia, eligiendo el valor máximo entre su actual número de secuencia o el número del paquete RREQ que le ha llegado.

1.4.5.2 Entradas de la tabla de enrutamiento

Cuando un nodo recibe un paquete de control desde un vecino, crea o actualiza una ruta hacia un destino en particular o una subred, el nodo comprueba su tabla de enrutamiento por una entrada para el destino. La ruta se actualiza en los siguientes casos:

- El número de secuencia es mayor que el que hay en la tabla de enrutamiento.
- El número de secuencia es igual, pero el nuevo valor del contador de saltos más uno, es menor que el valor que tenia la ruta de la tabla de enrutamiento.
- El número de secuencia es desconocido.

Las entradas de la tabla tienen un campo de tiempo de vida, este tiempo se determina por el paquete de control que llega.

1.4.5.3 Generación de peticiones de rutas

Un nodo envía un mensaje RREQ cuando determina que necesita saber la ruta hacia un destino y no lo tiene en su tabla de enrutamiento o es una entrada no válida. En ese momento se envía un mensaje RREQ con el valor del número de secuencia de destino igual al último número conocido para este destino. El valor del número de secuencia de origen en el mensaje RREQ es el número de secuencia del nodo que es incrementado antes del envío del mensaje.

Al tener en cuenta que las comunicaciones son bidireccionales, además de la ruta para llegar al destino también es necesario saber una ruta de vuelta. Para este cometido cualquier nodo intermedio que genere un mensaje de respuesta (RREP) debe también realizar una acción que notifique al nodo destino una ruta de vuelta hacia el nodo origen.

Para no crear congestión en la red ni hacer que los mensajes circulen indefinidamente por ella, el nodo que origina peticiones debe indicar un TTL máximo a los mensajes y además seleccionar un *timeout* para esperar una respuesta. Tanto el *timeout* como el TTL son calculados de manera periódica y tiene en cuenta el tamaño de la red y el tiempo que tarda un paquete en cruzarla.

1.4.5.4 Procesamiento y retransmisión de peticiones de ruta

Cuando un nodo recibe un RREQ, crea o actualiza una ruta hacia el salto anterior. Posteriormente comprueba que no haya recibido un mensaje con el mismo ID y origen y si lo ha recibido descarta este nuevo mensaje. En este apartado se explicará las acciones que se realizan cuando este mensaje no se descarta.

Lo primero que se hace es aumentar el valor del contador de saltos en uno. Después, el nodo busca una ruta hacia la IP origen del mensaje. Si no existe se debe crear una nueva ruta de vuelta. Una vez que se ha creado esta ruta de vuelta se siguen las siguientes acciones:

- El número de secuencia origen se compara con el número de secuencia hacia el destino que se tiene en la tabla, y si es mayor se copia en ella.
- Se valida el campo de número de secuencia.

- El siguiente salto en la tabla de enrutamiento se procesa en el nodo a donde ha llegado el mensaje de información.
- Se copia el número de saltos en la tabla de enrutamiento.

1.4.5.5 Generación de respuesta de ruta

Un nodo genera un mensaje RREP si él mismo es el destino, o tiene una ruta activa hacia el destino y el número de secuencia de la entrada de la tabla es mayor que el del mensaje RREQ. Una vez que se genera el RREP el nodo descarta el mensaje RREQ.

Si un nodo no genera un RREP y el valor del TTL es mayor a uno, entonces actualiza y envía el mensaje RREQ a una dirección *broadcast*.

Si el nodo que genera el mensaje RREP no es el nodo destino sino que es un nodo intermedio, copia su propio número de secuencia para el destino en el campo de número de secuencia de destino del mensaje RREP. Entonces este nodo intermedio actualiza la ruta de retransmisión poniéndose a él como último nodo en la lista de precursores.

1.4.5.6 Recepción y retransmisión de respuesta de ruta

Cuando un nodo recibe un mensaje RREP busca una ruta hacia el salto anterior, si es necesario se crea esta ruta. Posteriormente el nodo incrementa el contador de saltos en el mensaje. Entonces se crea una ruta para llegar al destino si no existe. De otra manera, el nodo compara el número de secuencia de destino del mensaje con el que tiene guardado. Después de la comparación la ruta existente se actualiza en los siguientes casos:

- El número de secuencia en la tabla de enrutamiento está marcado como inválido.
- El número de secuencia de destino en el mensaje es mayor al que el nodo tiene guardado y el valor es válido.
- Los números de secuencia son iguales pero la ruta está marcada como inactiva.

- Los números de secuencia son los mismos, y el nuevo valor del contador de saltos es menor.

Cuando se actualiza una entrada en la tabla la ruta se marca como activa, el número de secuencia de destino también se marca como válido y en el siguiente salto en la entrada de la tabla se asigna el nodo del que ha llegado el mensaje RREP. También se debe actualizar el nuevo valor del contador de saltos, el tiempo de expiración de la ruta y el número de secuencia de destino, se debe actualizar por el número de secuencia del mensaje RREP.

1.4.5.7 Mensajes de error (RERR)

Normalmente una ruta errónea o el corte de un enlace necesitan un procedimiento similar. Primero se debe invalidar las rutas existentes, determinar los destinos afectados, determinar los nodos vecinos afectados y enviar un mensaje apropiado RERR a estos nodos vecinos.

Un nodo inicia el procesamiento de un mensaje RERR en tres situaciones:

- Si detecta la caída de un enlace para el siguiente salto de una ruta activa en su tabla de enrutamiento mientras envía datos.
- Si recibe un paquete de datos desde un nodo del que no tiene ninguna ruta activa.
- Si recibe un mensaje RERR desde un nodo vecino por una o más rutas activas.

1.4.5.8 Ejemplo de utilización

En la figura 1.11 se puede ver como un nodo (A) busca la ruta hacia otro nodo (J) del que no conoce el camino. Lo primero que hace el nodo A es enviar un mensaje broadcast RREQ hacia todos los nodos, preguntando por el nodo J, con el que se quiere comunicar. Cuando el mensaje RREQ llega al nodo J este genera un mensaje RREP de respuesta. Este mensaje se envía como unicast de vuelta hacia el nodo A utilizando las entradas en memoria de los nodos H, G y D.

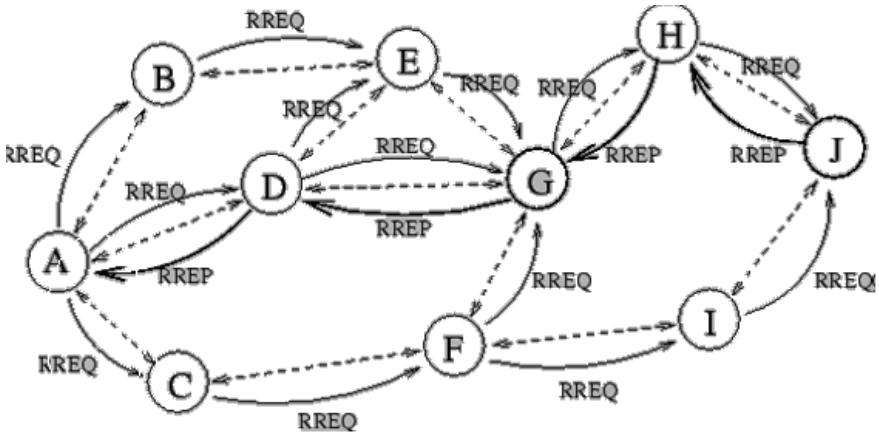


Figura 1.11: Ejemplo de búsqueda de un nuevo nodo

1.4.6 OSPF (OPEN SHORTEST PATH FIRST)

El protocolo OSPF (Iniciar con la primera ruta mas corta), propone el uso de rutas más cortas y accesibles mediante la construcción de un mapa de la red y el mantenimiento de bases de datos con información sobre sistemas locales y vecinos. De esta manera es capaz de calcular la métrica para cada ruta, entonces se eligen las rutas de encaminamiento más cortas.

Todos los routers de OSPF tienen una base de datos detallada con la información necesaria para construir un árbol de encaminamiento del área, con la descripción de las interfaces, conexiones y métricas de los routers. Además de todas las redes de multiacceso[23] y una lista de todos los routers de la red.

Los routers envían periódicamente mensajes de saludo (*Hello*), para que el resto de los routers sepan que siguen activos. También envían mensajes de saludo al otro extremo de un enlace punto a punto o un circuito virtual para que estos vecinos sepan que siguen atentos.

Una de las razones por las que funcionan los mensajes de saludo es que un mensaje contiene la lista de todos los identificadores de los saludos cuyos vecinos escucharán el emisor, así los routers conocen si se les está escuchando en la red.

[23] Sistema que permite a varios usuarios (cada uno desde su terminal) hacer uso de un mismo ordenador "simultáneamente".

1.4.6.1 Tipos de mensajes OSPF

Los cinco tipos de mensajes del protocolo OSPF que se utilizan son:

- **Saludo:** se usa para identificar a los nodos vecinos.
- **Descripción de la base de datos:** durante la inicialización, se usa para intercambiar información de manera que un router puede descubrir los datos que le faltan en la base de datos.
- **Petición del estado del enlace:** se usa para pedir datos cuando un router se ha dado cuenta que le faltan datos en su base de datos o que están obsoletos.
- **Actualización del estado del enlace:** se usa como respuesta a los mensajes de petición del estado del enlace y también para informar dinámicamente de los cambios en la topología de la red.
- **ACK[24] de estado del enlace:** se usa para confirmar la recepción de una actualización del estado del enlace. El emisor retransmitirá hasta que se confirme.

1.4.6.2 Router designado

En una red multiacceso, los mensajes de saludo también se usan para identificar a un *Router designado*. El router designado cumple dos funciones:

Es responsable de la actualización fiable de sus vecinos adyacentes con la información más reciente de la topología de la red.

Crea avisos de enlaces de red con la lista de todos los routers conectados a la red multiacceso.

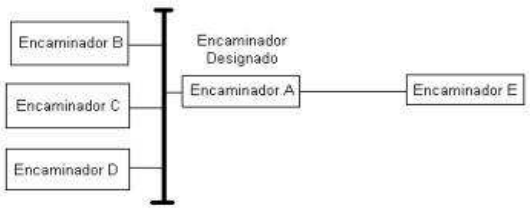


Figura 1.12: Dibujo de router designado

[24] Mensaje que se envía para confirmar que un mensaje o un conjunto de mensajes han llegado

El router designado A intercambia información con los routers B, C y D de su LAN, así con el router E conectado con su enlace punto a punto. El router designado A actúa como experto local y mantiene actualizada la topología local completa. Después comunica a los routers adyacentes la información. B, C y D mantienen sus propias bases de datos sincronizadas hablando con A. No tienen que hablar con los otros, así se reduce drásticamente el tráfico de información. Dos routers que sincronizan sus bases de datos uno con otro se llaman adyacentes. B y C son vecinos, pero no son adyacentes el uno del otro debido a que consultan con A.

1.4.6.3 Sistemas autónomos de área

Un área es un conjunto de redes y host contiguos, junto con routers con interfaces a estas redes. Un sistema autónomo que use OSPF está construido por una o más áreas. Cada área tiene asignado un número. El área 0 está conectada al Backbone[25] que enlaza con el resto de áreas y agrupa al resto de sistemas autónomos.

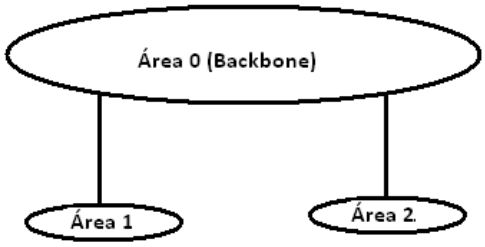


Figura 1.13: Backbone y áreas en OSPF

La red agrupa las áreas. El backbone contiene todos los routers que pertenecen a múltiples áreas, así como las redes y routers no asignados a ninguna área. Se debe recordar que las áreas están numeradas y que el backbone es el área 0. Un router frontera pertenece a una o más áreas y al backbone.

1.4.6.4 Encaminamiento de área en OSPF

El encaminamiento dentro de un área se basa en un mapa completo de estado de enlace del área. Todos los routers con OSPF implementado en un área mantienen

[25] Se refiere a las principales conexiones troncales de Internet. Está compuesta de un gran número de routers comerciales, gubernamentales, universitarios y otros de gran capacidad interconectados que llevan los datos a través de países, continentes y océanos del mundo.

una base de datos de encaminamiento idéntica que describe la topología y estado de todos los nodos de esa área. La base de datos se usa para construir el mapa de esa área. Siempre que ocurre un cambio, la información se propaga por toda el área. De esta forma siempre los routers estarán en un estado óptimo para cualquier petición. Un router que esté arrancando obtendrá una copia de la base de datos actual de encaminamiento de su vecino más cercano (vecino se denomina a cualquier router que esté en su área).

El router de frontera conoce la topología completa de las áreas a las que está conectado. Estos routers resumen la información de área e indican a otros routers del backbone lo lejos que están de las redes dentro de su propia área.

De esta forma todos los routers frontera pueden calcular las distancias a destinos fuera de sus propias áreas y transmitir esta información dentro de sus propias áreas.

1.4.6.5 Destino fuera de los Sistemas Autónomos de OSPF

Muchos sistemas autónomos están conectados a Internet, o a otros sistemas autónomos. Los enrutadores límite de OSPF ofrecen información sobre distancias a las redes externas al sistema autónomo.

Existen dos tipos de métricas de distancia externa de OSPF. La de tipo 1 es equivalente a la métrica local de estado del enlace. Las métricas de tipo 2 de larga distancia, se miden con un mayor orden de magnitud.

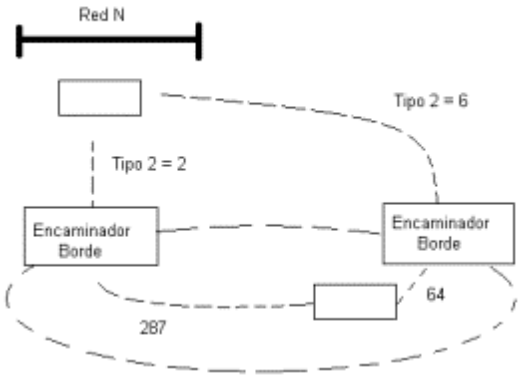


Figura 1.14: Dibujo de elección de métrica

En el dibujo vemos que existen dos rutas, hemos elegido la métrica de tipo 2, para llegar a la red externa vemos que eligiendo la de tipo 2 la más corta es la de valor 2. Otra característica de OSPF conveniente para los Proveedores de Servicios Internet es que un router límite de un sistema autónomo puede comportarse como un *servidor de encaminamiento* y puede informar de las entradas que identifican las rutas a otros routers límite.

1.4.6.6 Wireless

El protocolo OSPF tiene un gran funcionamiento para redes cableadas pero tiene distintos problemas en las redes sin cables como la aleatoriedad y los cambios continuos de la infraestructura. Para solucionar estos problemas se desarrollan versiones posteriores que incluyan funcionalidades de enrutamiento MANET (Mobile Ad-hoc NETwork).

En este sentido se han desarrollado distintos proyectos intentando dar una solución a los distintos problemas que tienen las redes sin cables. Aún no existe ningún estándar en este sentido y se está trabajando en ellos desde distintas perspectivas:

- Establecimiento del problema para extensiones OSPF para enrutamiento móvil Ad-hoc. En las redes ad hoc muchas de las características y capacidades de OSPF son necesarias. En este documento trata de explicar los cambios necesarios que se deberían hacer para que este protocolo funcionara correctamente en redes de este tipo.

- Consideraciones de diseño para una interface OSPF inalámbrica. En este proyecto se presentan análisis y resultados de simulaciones de un diseño del protocolo OSPF con interfaces inalámbricas.

- Tipo de interfaz inalámbrica OSPFv2. Describe mejoras al protocolo OSPFv2 para el soporte de interfaces inalámbricas, con capacidad broadcast y para redes multi-hop.

- Extensiones a OSPF para soportar redes móviles Ad-hoc. Este documento especifica un mecanismo para la señalización local de enlaces, una interfaz

OSPF-MANET, un método para reducir el tamaño de los paquetes Hello y un método para optimizar la inundación de actualizaciones de enrutamiento.

- Extensión MANET de OSPF usando inundación CDS. Describe y evalúa una familia de métodos de inundación para las redes ad hoc.

Los principales problemas que suponen este tipo de redes al protocolo OSPF son las siguientes:

- Movilidad y cambios de la geografía en la que se encuentran los nodos (routers) puede llevar a muchas situaciones complejas con vecinos que tienen cobertura por dos routers distintos, o dificultan la elección del mejor camino hacia el destino.

- Adaptación de la red al entorno gráfico. Posibilidad de usar antenas direccionales o no.

- Minimización del tráfico retransmitido. En OSPF hay optimizaciones de inundación de mensajes como el uso de DR, pero estas optimizaciones son basándose en redes con multiacceso. Sin embargo, las redes inalámbricas muchas veces no cumplen esta característica, y no se puede asumir que la conectividad es en ambos sentidos. Por este motivo estas optimizaciones no son óptimas si no se combinan con otras como la inundación del estado de los enlaces (LSF). Se debe utilizar un mecanismo que permita sincronizar la información de todos los nodos del segmento.

- Limitar transmisión. Se debe minimizar también el tráfico originado. Una solución estudiada es la de que los nodos envíen un mensaje LSA y asuman que se encuentran en la base de datos LSA hasta que no sea explícitamente retirado.

- Control de potencia. Al ser dispositivos móviles que pueden actuar con baterías es muy importante el uso que se le da. Los dispositivos que utilicen este tipo de energía sólo actuarán y retransmitirán mensajes siempre que sea necesario porque ningún otro vecino pueda encargarse.

- Gran número de vecinos inmediatos. En una interfaz inalámbricas puede haber un gran número de vecinos adyacentes, además en este tipo de redes puede haber un gran número de nodos con características de routers. Por estos dos motivos los protocolos que trabajen en este tipo de redes deben poder dar soporte a un gran número de adyacencias y permitir fácilmente la llegada de nuevos vecinos.

- Movilidad rápida. La topología de este tipo puede cambiar bruscamente y un gran número de veces en poco tiempo cuando la red es muy densa, estos cambios tan variados no pueden llevar a un gran número de mensajes que colapsen la red para la creación de adyacencias o la caída de enlaces. Por este motivo deben haber cambios en el establecimiento de vecinos, resumen de topologías e inundación de mensajes LSA.

Inundación fiable o no. Para la inundación de mensajes LSA se puede utilizar transmisión multicast[26] pero el reconocimiento llegará desde cada vecino. Esto hace que aumente considerablemente el tráfico, se ha trabajado con distintas soluciones para minimizar este tráfico como TBRPF (Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding) que tiene routers que transmiten los LSAs hacia sus vecinos necesarios para que estos puedan calcular las rutas hacia ellos mismos, asumiendo que otros mensajes LSA llegarán hacia ellos por otras rutas si realmente son necesarios.

1.4.7 OLSR (OPTIMIZED LINK STATE ROUTING PROTOCOL)

Este protocolo de enrutamiento para enlaces optimizados, está desarrollado para redes móviles ad hoc, opera en modo proactivo. Cada nodo selecciona un grupo de nodos vecinos como “multipoint relay” [27] (MPR), en este caso sólo los nodos seleccionados como tales son responsables de la retransmisión de tráfico de control. Estos nodos también tienen la responsabilidad de declarar el estado del enlace a los nodos que los tienen seleccionados como MPR.

[26] Servicio de red en el cual un único flujo de datos, proveniente de una determinada fuente, puede ser enviada simultáneamente para diversos destinatarios.

[27] un nodo que es seleccionado por su vecino, nodo X, para retransmitir todos los mensajes *broadcast* que recibe del nodo X.

Es muy útil para redes móviles densas y grandes, porque la optimización que se consigue con la selección de los MPR trabaja bien en estos casos. Cuanto más grande y densa sea una red mejor es la optimización que se consigue con este protocolo. OLSR utiliza un enrutamiento salto-a-salto, es decir, cada nodo utiliza su información local para enrutar los paquetes.

La selección de los nodos MPR (retransmisores multi-punto)reduce el número de retransmisiónes necesarias para enviar un mensaje a todos los nodos de la red. OLSR optimiza la reacción a cambios en la topología reduciendo el intervalo de transmisión de los mensajes periódicos de control. Como este protocolo se mantiene rutas hacia todos los destinos de la red trabaja muy bien en redes donde el tráfico es aleatorio y esporádico entre un gran número de nodos.

OLSR trabaja de manera distribuida sin ninguna entidad central. Este protocolo no requiere transmisiónes seguras de mensajes de control porque los mensajes son periódicos, y se pueden permitir algunas pérdidas. Tampoco necesita una recepción de mensajes secuencial, se utiliza números de secuencia incrementales para que el receptor sepa que información es más reciente.

1.4.7.1 Funcionamiento

OLSR está modulado para tener un núcleo de funcionalidades, que siempre es requerido, y un grupo de funcionalidades auxiliares.

1.4.7.1.1 Funcionamiento núcleo

El núcleo especifica el comportamiento de un nodo que tiene interfaces OLSR.

Se basa en las siguientes funcionalidades:

- **Formato de paquete y retransmisión:** OLSR se comunica mediante un formato de paquete unificado para todos los datos del protocolo. El propósito de esto es facilitar la extensión del protocolo, estos paquetes se envían como datagramas UDP.

  Cuando recibimos un paquete básico, un nodo examina el mensaje, y basándose en un campo donde se indica el tipo de mensaje determinará el procesamiento del mensaje que seguirá los siguientes pasos:

- Si el paquete no contiene mensaje (el tamaño es demasiado pequeño) se descarta.
- Si el valor del TTL[28] es menor o igual que 0 también se descarta.
- Condiciones de proceso. Si es un mensaje es duplicado (la dirección de origen y la número de secuencia ya se han tratado) no se procesa. En caso contrario el paquete es tratado de acuerdo al tipo de mensaje que haya llegado.
- Condiciones de retransmisión. Si es un mensaje duplicado no se retransmite, si no es duplicado se retransmite el mensaje siguiendo el algoritmo del tipo de mensaje.

- **Percepción de enlace:** se consigue saber el estado del enlace mediante el envío de mensajes “HELLO”. El propósito de esta funcionalidad es que cada nodo tenga asociado un estado en el enlace a cada uno de sus vecinos. El estado puede ser simétrico (enlace verificado es bidireccional) y asimétrico indica que los mensajes “HELLO” se han escuchado pero no podemos asegurar que este nodo escuche las respuestas.

- **Detección de vecino:** dada una red de nodos con sólo una interfaz, un nodo debe deducir los vecinos que tiene mediante la información intercambiada durante la percepción de enlace. Cada nodo debe tener guardados su grupo de vecinos. Cada vecino debe tener asociado el estado del enlace.

  Cuando se detecta la aparición de un nuevo enlace, se debe crear una entrada con un vecino que tiene un enlace asociado, en esta entrada también se debe guardar el estado de este enlace. Se debe tener en cuenta que cada vez que varía el estado del enlace se debe comprobar en la tabla que el cambio se lleva a cabo. Si no se recibe información de un enlace durante un tiempo establecido se debe borrar el enlace en cuestión y el vecino asociado.

- **Selección de MPR y señalización MPR:** la selección de los MPR sirve para seleccionar los nodos vecinos que se quiere que hagan *broadcast* de los

[28] Contador de tiempo de vida que decrece con cada salto o por esperar en la cola

mensajes de control. La señalización viene dada mediante mensajes “HELLO”. Cada nodo elige uno o más MPRs de manera que se asegura que a través de los MPRs seleccionados, cada nodo llega a todos los vecinos a dos saltos.

- **Difusión de mensajes de control de topología:** estos mensajes se difunden con el objetivo de dar a cada nodo de la red la información necesaria para permitir el cálculo de rutas, son llamados mensajes TC (Topology Control). Estos mensajes que retransmite un nodo hacia sus vecinos seleccionados como MPR, tienen la información de todos sus enlaces para que los otros nodos conozcan los vecinos a los que puede llegar.

- **Cálculo de rutas:** dada la información del estado del enlace que se adquiere mediante el intercambio de mensajes periódicos. Cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento que permite encaminar los paquetes de datos destinados a otros nodos. Esta tabla está basada en la información contenida en las bases de información de enlace y de la topología. Esta tabla se actualiza cuando se detecta algún cambio en estos campos:

    - El enlace [29]
    - El vecino [30]
    - El vecino de dos saltos
    - La topología

1.4.7.1.2 Funciones auxiliares

Hay situaciones donde funcionalidades auxiliares son necesarias, como por ejemplo un nodo con múltiples interfaces, donde algunas de ellas participan en el otro dominio de enrutamiento.

- **Interfaces no OLSR:** hay nodos que pueden tener interfaces que no son OLSR, estas interfaces pueden ser conexiones punto a punto o conectar con otras redes. Para poder tener conectividad entre las interfaces OLSR y estas otras el router debe ser capaz de introducir información externa de encaminamiento

[29] Pareja de interfaces OLSR sensibles a “escuchar” el otro. Los enlaces pueden ser simétricos (enlace bidireccional), asimétricos (sólo verificados en un sentido).

[30] Un nodo X es vecino de otro nodo Y, si el nodo Y puede escuchar nodo X. Existe un enlace entre los dos nodos. Dos nodos son vecinos si ambos se encuentran dentro del área de cobertura del otro.

a la red. Para esto las interfaces no OLSR crean un mensaje Host and Network Association (HNA) que contiene información suficiente para poder crear nuevas rutas con esta información.

- **Notificación capa enlace:** OLSR no trabaja con información de capa enlace. Sin embargo, si la información de esta capa está disponible, esta información se utiliza además de la información de los mensajes "HELLO", para mantener información de los vecinos y los MPR. Por ejemplo: la pérdida de conectividad de la capa de enlace se puede deber a la ausencia de reconocimientos de capa de enlace.

- **Información redundante de topología:** para poder proveer redundancia a la información de topología, la información de anuncio que emite el nodo ha de tener información de enlaces hacia nodos vecinos que no necesariamente tengan a este nodo como MPR. El mensaje de anuncio publica información de todos los enlaces de los nodos vecinos. Hay tres posibles niveles de redundancia:

    - *Sin redundancia:* sólo se emite información del grupo que ha elegido a este nodo como MPR.

    - *Redundancia media:* se emite información del grupo que ha elegido el nodo como MPR y también información de los nodos que este ha elegido como MPR.

    - *Redundancia alta:* se emite información de todos los enlaces hacia los vecinos.

MPR redundante: esta funcionalidad especifica la habilidad del nodo de seleccionar MPR redundantes. Aunque la redundancia crea mucho más tráfico y pierde eficiencia el mecanismo de MPR, tiene una gran ganancia al asegurar la llegada de los paquetes a sus destinos. Esta funcionalidad es útil para situaciones en que la red tiene mucha movilidad y mantener una buena cobertura con los MPR.

1.4.7.2 Ejemplo de utilización

En la figura 1.14: vemos una red con 5 nodos colocados de manera estratégica para que todos ellos tengan un vecino a cada lado, como se puede tomar el nodo 3 (MH3) tiene sus vecinos el MH2 y el MH4, y tiene sus vecinos a dos saltos[31] el MH1 y MH5.

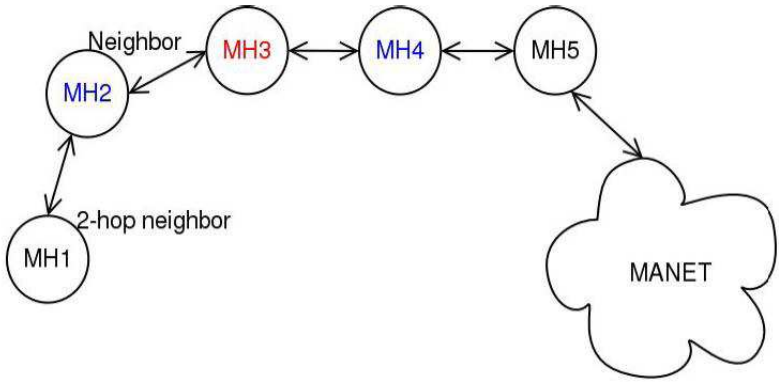


Figura 1.14: Topología de la red

En la siguiente tabla podemos ver un ejemplo de la tabla de enrutamiento del nodo MH3, aquí podemos ver que los vecinos pueden estar en dos estados como enlace asimétrico o simétrico según la calidad de los enlaces en el momento en el que llegan los paquetes. Cada una de las columnas de la tabla indica un momento del proceso de recepción de paquetes de señalización. En la tercera columna se puede observar que ya ha llegado a converger la red. En cambio en las dos primeras columnas había nodos que no se habían detectado o incluso algunos que se habían detectado pero no se había comprobado la comunicación en ambos sentidos. También se puede ver en esta tabla como los vecinos a dos saltos son aquellos que son vecinos de algún nodo que tenemos en el estado de enlace simétrico.

[31] un nodo “escuchado” por un vecino. Nodo, no vecino, que está dentro del área de cobertura de un nodo vecino.

		1	2	3
MH2	Enlace Asimétrico Enlace Simétrico Vecino a 2 saltos	MH1	MH3 MH1	MH1, MH3 MH4
MH3	Enlace Asimétrico Enlace Simétrico Vecino a 2 saltos		MH2, MH4	MH2, MH4 MH1, MH5
MH4	Enlace Asimétrico Enlace Simétrico Vecino a 2 saltos	MH5	MH3 MH5	MH3, MH5 MH2

Tabla 1.5. Tabla de enrutamiento del nodo MH3

1.5 SEGURIDAD

1.5.1 TECNOLOGÍAS EN SEGURIDAD

El potencial de una red WMNs no puede ser explotada sin considerar la seguridad. Las WMN se exponen a las mismas amenazas básicas comunes de las redes cableadas e inalámbricas: los mensajes pueden ser interceptados, modificados, duplicados, etc. Una red que posee recursos importantes, se podría acceder sin autorización.

Los servicios de seguridad que por lo general tratan de combatir estas amenazas son:

• **Confidencialidad:** Los datos se revelan solamente en las entidades o personas interesadas.

• **Autentificación:** Una entidad tiene de hecho la identidad que demanda tener, es decir, reconocimiento de los usuarios dueños del servicio.

• **Control de acceso:** Se asegura de que solamente las acciones autorizadas puedan ser realizadas.

• **No negación:** Protege las entidades que participan en un intercambio de la comunicación puede negar más adelante algo falso que ocurrió el intercambio.

• **Disponibilidad:** Se asegura de que las acciones autorizadas puedan tomar lugar.

Los Servicios de seguridad en el futuro serán mucho más restringidos buscando para el usuario privacidad y la confidencialidad del tráfico. La protección del tráfico de datos implica: la confidencialidad (cifrado), la autentificación de los socios de la comunicación, así como la protección de la integridad y de la autenticidad de mensajes intercambiados. La protección de la integridad se refiere no sólo a la integridad del mensaje, sino también al orden correcto de los mensajes relacionados (reenvío, el reordenamiento, o cancelación de mensajes). Esta sección describe los mecanismos utilizados para la protección del tráfico de la comunicación. Estas tecnologías pueden también ser utilizadas dentro de una red mesh para autenticar los nodos Mesh (MNs) y para establecer las claves de la sesión que protegen la confidencialidad y la integridad del tráfico intercambiado entre MNs.

Los datos pueden ser protegidos por diversas capas (capa de enlace, capa de red, capa de transporte y capa de aplicación): especialmente en sistemas inalámbricos, (IEEE 802.11 WLAN, Bluetooth, 802.16 WiMax), que incluye medios de proteger el enlace inalámbrico. Éstos utilizan diversos esquemas de encapsulación de tramas, diversos protocolos de autentificación, y diversos algoritmos criptográficos. Ya sea una llave compartida es configurada en los dispositivos WLAN (la llave precompartida PSK)

Las Redes de área local inalámbricas (WLAN) basada en IEEE 802.11i (WPA[32], WPA2) soporta dos modos de seguridad: puede ser shared key (clave compartida) que es configurada en los dispositivos WLAN ([PSK = preshared key] claves pre-compartidas), que es de uso frecuente en las redes domesticas, los usuarios pueden ser autenticados con un servidor autentificador (servidor AAA). Para este propósito, se utiliza el protocolo extensible de autentificación (extensible authentication protocol) (EAP). La autentificación real ocurre entre la estación móvil (MS) y el servidor AAA. Usando EAP como lo muestra la Figura 1.15. El EAP es transportado entre el MS y el punto de acceso (AP) que usan EAPOL (encapsulación EAP sobre LAN), y entre el AP y el servidor AAA por el protocolo

[32] WPA (Wi-Fi Protected Access = acceso protegido Wi-Fi)

RADIUS[33]. Si es habilitado el nodo, una sesión maestra de claves (MSK) es utilizada, el cual se envía desde el servidor de la autentificación (AS) al WLAN AP. Se utiliza como entrada al WLAN.

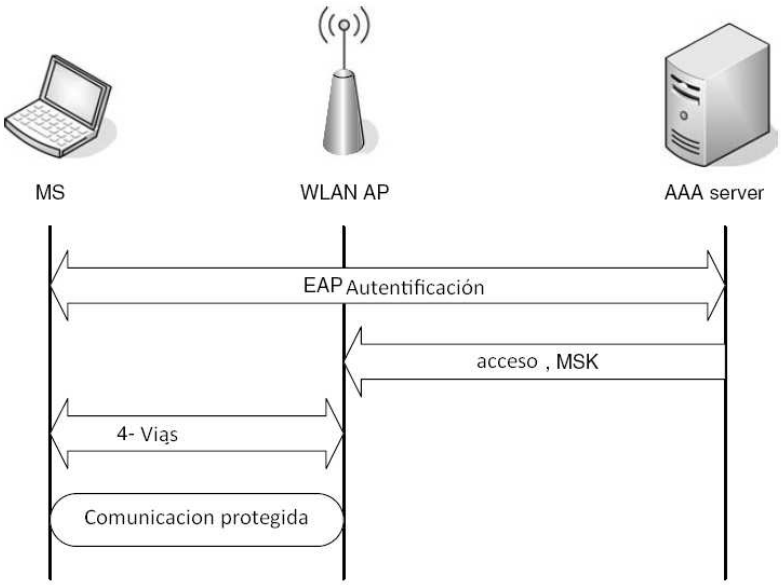


Figura 1.15: Acceso a WLAN basada en EAP

Hay 4 maneras de establecer una sesión de clave temporal para proteger el enlace inalámbrico. Esta clave se utiliza realmente para proteger el tráfico del usuario, usando cualquier protocolo de integridad de calve temporal (TKIP), que es parte de WPA) o AES-basado en CCMP (CTR con el protocolo de CBC-MAC, parte de WPA2). Los varios métodos de EAP existen para una autentificación basada en los certificados digitales, las contraseñas, o los protocolos móviles reusing de la autentificación de la red (EAP-SIM, EAP-AKA).

El acceso EAP-basado en WLAN se utiliza particularmente para las redes de la empresa y los hot-spots públicos donde está disponible una base de datos del usuario. El tráfico de la comunicación se puede también proteger en la capa enlace. IPsec protege tráfico IP en la capa de la red (IP). La arquitectura de IPsec especifica dos protocolos de seguridad: ENCAPSULATION SECURITY

[33] Remote Authentication Dial-In User Server, es un protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red o movilidad IP. Utiliza el puerto 1813 UDP para establecer sus conexiones.

PAYLOAD (ESP) y AUTHENTICATION HEADER (AH). En el caso de ESP, ella encapsula solamente la carga útil (payload) del paquete del IP (modo del transporte) o del paquete entero del IP (modo del túnel). Una IPsec security association (SA) define las claves (keys) y los algoritmos criptográficos para utilizar. Un SA es identificado por 3 cosas consistentes en: un IP address de la destinación, un identificador del protocolo (AH o ESP), y un índice del parámetro de la seguridad.

Este SA unidireccional se puede configurar explícitamente, o puede ser establecido dinámicamente, por ejemplo, por el protocolo del Internet key Exchange (IKEv2). Un uso común de IPsec son las redes privadas virtuales (VPN) para tener acceso con seguridad a un Intranet de la compañía. El tráfico de la comunicación se puede proteger en la capa de transporte usando el protocolo de la seguridad de la capa de transporte (TLS), que se basa en el encendido y es muy similar al secure socket layer (SSL). Su uso principal está para proteger El HTTP sobre TLS/SSL (https), pero esta puede también ser utilizada como protocolo independiente. Los protocolos TLS/SSL28 incluyen la autentificación y el establecimiento de la clave basada en certificados digitales.

La ayuda para preshared o compartir las llaves (PSK-TLS) también fue introducida. Es también posible proteger el tráfico en capas más altas. Esto permite realizar operaciones y aplicaciones específicas de la seguridad. Por ejemplo, los E-mails pueden ser encriptados (protección a la confidencialidad) y/o ser señalados como (autentificación, la integridad, y no compartido del origen) que usa S/MIME o el PGP.

1.6 NUEVAS APLICACIONES Y ESCENARIOS

Tenemos escenarios conceptuales directamente aplicables a las nuevas WLAN mesh, que se resumen a continuación:

1.6.1 ACCESO A INTERNET DE BANDA ANCHA

Los despliegues de redes de acceso con infraestructura cableada (última milla y nodos finales) resultan en muchas ocasiones impracticables en términos de

costes en zonas rurales y suburbios metropolitanos. Los operadores encuentran las siguientes barreras de inversión en estos casos:

- Coste capital del equipamiento.
- Operación y mantenimiento de un número elevado de nodos.
- Despliegue de cableado en terrenos no urbanizados y de larga distancia.

A pesar de que las redes inalámbricas disminuyen considerablemente el coste de inversión en la última milla de los operadores y proveedores de acceso a Internet, Las redes mesh solucionan esta situación, mejorando tanto el ancho de banda como los alcances mediante radioenlaces más cortos y de mayor densidad.

1.6.2 RED MESH COMUNITARIA

Potenciando la idea de mejorar las relaciones entre comunidades vecinas y áreas poblacionales más desfavorecidas a través de la tecnología, algunos ciudades están llevando a cabo proyectos de acceso a Internet de bajo costo, vigilancia contra la delincuencia y redes de información vecinal mediante redes mesh.

En estos escenarios, los participantes son generalmente dueños del equipamiento y de la red mesh y se benefician de la compartición de accesos a través de diferentes tecnologías (cable, xDSL, WxAN…), la redundancia de accesos y el reparto del costo de tarificación.

1.6.3 HOGAR MESH

La nueva convergencia fijo-móvil fomenta desarrollos paralelos en la electrónica del hogar; mediante la migración de funcionalidades mesh a dispositivos cotidianos, pudiéndose establecer redes residenciales auto-configurables.

Los dispositivos podrían descubrirse automáticamente de manera similar a la tecnología *plug-and- play*, capaces de establecer redes mesh en el hogar, como:

Equipos de audio y vídeo (cámaras, TV, DVD, receptores de cable o satélite), teléfonos móviles y fijos, PDAs, Domótica del hogar (interruptores inteligentes, sistemas de inteligencia ambiental, etc)

1.6.4 OFICINA INALÁMBRICA

Las redes mesh permiten establecer comunicaciones seguras y eficientes en entornos interiores de oficina, como lo son multitud de comercios. Si cada PC tuviese una tarjeta Wi-Fi mesh se permitiría un despliegue rápido y de bajo coste, eliminando cables, *switches* y puntos de acceso adicionales.

Esta opción representa una buena alternativa cuando la inversión en infraestructura cableada resulta demasiado alta (por ejemplo, negocios que dispongan de alrededor de 100 computadoras).

1.6.5 MESH ESPONTÁNEA

La red mesh espontánea se define como el despliegue temporal de una red inalámbrica para la provisión de servicios de voz, datos y vídeo, con el objetivo de colaborar activamente en una situación local distribuida cuando no exista control centralizado ni infraestructura planificada previa.

1.6.6 CAMPUS MESH

Por sus características, existe otro escenario de aplicación que combina algunas de las peculiaridades de los anteriores. Se trata de los despliegues de redes mesh en entornos campus, ya sean parques tecnológicos, campus universitarios, etc.

1.7 ESTANDARIZACIÓN DE MESH EEE 802.11s

Estas nuevas tecnologías se encuentran en proceso de estandarización por parte del IEEE para su aplicación directa en redes inalámbricas con tecnología 802.11. La norma que agrupará las actuales líneas de trabajo se define en **IEEE 802.11s**, cuyo primer borrador fue publicado en noviembre de 2006, y la versión final del mismo está prevista para finales de 2008[34]

El grupo de trabajo que desarrolla dicho estándar (IEEE Task Group TGs) define la arquitectura de red y el protocolo necesarios a partir de las especificaciones del IEEE 802.11, con el objetivo de crear una topología de red auto-configurable que soporte la transmisión broadcast/multicast y unicast (topologías multihop o de varios saltos), todo ello manteniendo la latencia y la degradación del throughput

[34] Victor Bahl, Microsoft Research 2006. "*A crash course in mesh Networking*".

dentro de unos márgenes tolerables para la transmisión de voz con requerimientos de tiempo real, y datos con requerimientos de anchos de banda elevados[35].

A pesar de que fueron quince las primeras propuestas recibidas en junio de 2005, para septiembre de 2005 habían sido reducidas a cuatro. Hasta fecha reciente las dos principales propuestas que recibieron la mayoría de votos en las reuniones de julio, septiembre y noviembre de 2005 eran las siguientes:

1.7.1 PROPUESTA WI-MESH

La "Wi-Mesh Alliance" (WiMA), cuyos miembros son Nortel, Philips, Accton, ComNets, InterDigital, NextHop, Extreme Networks, Laboratorio de Investigación de la Marina Estadounidense, Swisscom Innovations y Thomson, ofreció una propuesta que permitía a usuarios de tecnología inalámbrica comunicaciones *seamless*, esto es, independencia de las aplicaciones de los procesos de traspaso de coberturas radio, y sus características son:

- Solución completa que permita todos los modelos de uso de IEEE 802.11s
- Soporte de configuración monoradio y multiradio.
- Eficiente en términos de calidad de servicio (QoS).
- Auto configurable y fácil de operar.
- Ha de ser flexible y segura.
- Soporte de enrutamiento dinámico.
- Soporte de múltiples algoritmos de enrutamiento.
- Integración de la seguridad y enrutamiento.

Todas estas características proporcionan flexibilidad operacional para el despliegue de redes con equipos de diferentes fabricantes.

[35] IEEE 802.11s Task Group TGs.

1.7.2 PROPUESTA SEEmesh

Otro consorcio, “SEEmesh” (Simple, Efficient and Extensible mesh), estuvo compuesto por operadores y fabricantes tales como Firetide Networks, Intel, Nokia, Motorola, NTT DoCoMo y Texas Instruments. Su propuesta introdujo el concepto de Mesh Portals, dispositivos que mejoran la interoperabilidad de las redes mesh permitiendo que equipamiento estándar inalámbrico anterior a IEEE 802.11s pueda ser reconocido e incorporado a una red mallada[36].

1.7.3 ESTADO ACTUAL

No todos los proveedores que ofertan soluciones de redes malladas propietarias se han involucrado en el proceso de estandarización IEEE 802.11s. Algunos de los principales vendedores de tecnología mesh actuales, entre los que se incluyen BelAir Networks, Tropos Networks, RoamAD y Strix Systems, no son parte de ninguno de los grupos mencionados.

En la reunión de enero de 2006, la selección de propuestas fue suspendida y las dos principales, “SEEmesh” y “Wi-Mesh” se unieron. La propuesta fusionada se presentó y aprobó unánimemente en la reunión de marzo de 2006, constituyendo la base del borrador IEEE 802.11s D1.0 producido en noviembre de 2006[37].

La especificación propuesta proporciona la arquitectura para WLAN mesh escalables, adaptativas y seguras. Ofrece la flexibilidad necesaria para satisfacer todos los modelos de uso contenidos en los entornos residenciales, oficina, campus, seguridad pública y militares, definiendo la subcapa MAC, el enrutamiento, la seguridad y la interacción de capas altas.

El diseño soporta tantas plataformas monoradio como multiradio. De hecho, la función Médium Coordination Function efectúa tres modos de operación, que permiten implementaciones simples y robustas, así como soluciones más sofisticadas para un rendimiento óptimo y mejor eficiencia espectral.

[36] Networking Planet, July 2006.
[37] IEEE 802.11s Task Group TGs.

CAPÍTULO 2

2 ANÁLISIS PREVIO PARA EL DISEÑO DE LA RED

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo aborda el estudio de la situación actual de las comunicaciones en las parroquias rurales del Cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, así como la descripción de la zona geográfica y aspectos socioeconómicos, en base a un estudio de campo a través de encuestas realizadas en las parroquias rurales del cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL CANTÓN LATACUNGA PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE COTOPAXI

El **Cantón Latacunga** fundada en el año 1534, es la capital de la Provincia de Cotopaxi. Se ubica en la sierra central de la cordillera de los Andes, teniendo como límites:

- Al Norte la provincia de Pichincha;
- Al Sur el cantón Salcedo;
- Al Este, la Provincia de Napo; y,
- Al Oeste, los cantones Sigchos, Pujilí y Saquisilí.

Figura 2.1: Provincia de Cotopaxi

Tiene una extensión de 1377,2 km^2 y está distribuida como se muestra a continuación.

PARROQUIAS	Área km²
LATACUNGA (URBANO)	260
ALÁQUEZ	146,4
BELISARIO QUEVEDO	49,5
GUAYTACAMA	28,5
JOSEGUANGO BAJO	18
MULALÓ	436,5
11 DE NOVIEMBRE	9,3
POALÓ	58,1
SAN JUAN DE PASTOCALLE	135,7
TANICUCHÍ	54,4
TOACASO	180,8
TOTAL	1377,2

Tabla 2.1. Extensión de las parroquias rurales del cantón Latacunga

En general la provincia posee una temperatura media anual de 12° C, por lo que cuenta con un clima templado, frío y cálido húmedo. Es uno de los cantones que cuenta con mayor insolación lo que favorece la producción de flores para exportación. Latacunga cuenta con importantes industrias, que aprovechan la ubicación geográfica, relativamente próxima de Quito. A corta distancia de la cabecera cantonal, al norte, se sitúa el aeropuerto internacional, con un importante tráfico de carga, de allí sale una parte importante de la producción de flores de la provincia. También funciona como aeropuerto alterno para el aeropuerto de Quito.

Existen distintos orígenes posibles para el nombre *Latacunga*. Probablemente proviene de las palabras quichuas "llacata kunka" que significa *Dios de las Lagunas,* ya que encontramos hermosos lagos, lagunas y fuentes de aguas minerales.

2.2.1 DIVISIÓN POLÍTICA

La cabecera cantonal cuenta con las siguientes parroquias urbanas: Eloy Alfaro (San Felipe), Ignácio Flores (Parque Flores), Juan Montalvo (San Sebastián), La Matríz, San Buenaventura.

El cantón se divide en las siguientes parroquias rurales: Aláquez, Belisario Quevedo, Guaytacama, Joseguango Bajo, Mulaló, 11 de Noviembre, Poaló, San Juan de Pastocalle, Tanicuchí, Toacaso.

Figura 2.2: Cantón Latacunga

2.2.2 CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS

Las tierras de lo que hoy es la provincia de Cotopaxi, fueron habitadas por los panzaleos, cayapa colorados y pastos que fueron conquistados por los incas y más tarde por los españoles. La población está compuesta por indígenas y blanco – mestizos.

De acuerdo con el Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador, SIISE, la pobreza por necesidades básicas insatisfechas, alcanza el 64,26% de la población total del cantón. La población económicamente activa (2001) es de 58.317 habitantes.

De acuerdo con los datos presentados por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), del último Censo de Población y Vivienda, realizado en el país (2001), Latacunga presenta una base piramidal ancha, que representa una población joven, a expensas de los grupos de edad comprendidos entre 0-24 años. La tasa de crecimiento anual (1990-2001), fue de 1.81, mientras que para el año 2008 es de 1.95

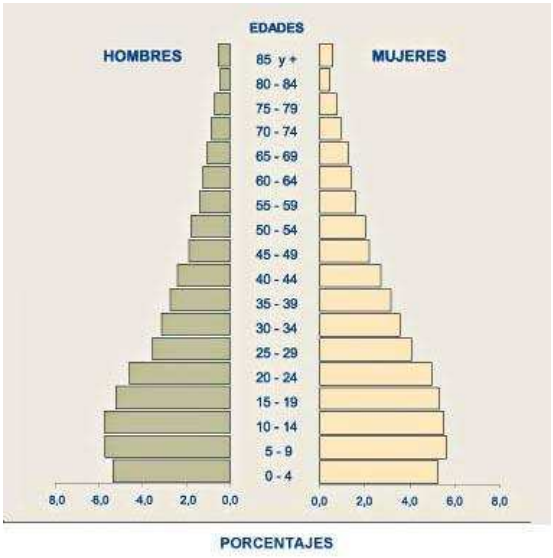


Figura 2.3: Pirámide de Población de Latacunga

Calculo de la Tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR) de la población del cantón Latacunga.

$$CAGR = \left(\left(\frac{V_f}{V_0}\right)^{\frac{1}{N}} - 1\right) \quad [\text{Ec. } 2.1]$$

Donde:

V_f = Valor Final de la Población = 168.254 habitantes en el año 2008

V_0= Valor Inicial de la Población = 146.971 habitantes en el año 2001

N = Es el número de años en el período que se está considerando = 7

$$CAGR = \left(\left(\frac{168254}{146971}\right)^{\frac{1}{7}} - 1\right) = \mathbf{1.95}$$

POBLACIÓN LATACUNGA	
PARROQUIAS	**TOTAL**
LATACUNGA (URBANO)	59.174
AREA RURAL	109.080
PERIFERIA	36.940
ALÁQUEZ	5.604
BELISARIO QUEVEDO	6.389
GUAYTACAMA	8.557
JOSEGUANGO BAJO	3.100
MULALÓ	8.426
11 DE NOVIEMBRE	2.062
POALÓ	6.048
SAN JUAN DE PASTOCALLE	11.371
TANICUCHÍ	12.603
TOACASO	7.979
TOTAL	**168.254**

Tabla 2.2. Proyección de la Población del Cantón Latacunga para el año 2008 [38]

En el área rural del cantón se encuentra concentrada un 64,83% de la población de Latacunga. La población femenina alcanza el 51,7%, mientras que la masculina, el 48,3%. El analfabetismo en mujeres se presenta en 15,5%, mientras que en varones: 6,4%.

2.2.3 ECONOMÍA

El desarrollo agrícola y ganadero es la principal fuente de ingresos económicos, los cultivos de papa, cebada, lenteja, y arveja, en las zonas altas; en los valles, legumbres, hortalizas, flores y plantas medicinales. En minería, cuenta con yacimientos de salitre, piedra pómez, arcilla para cerámica.

Se ha desarrollado la industria de productos lácteos, metalmecánica, de harinas, licores, bloques para la construcción.

El turismo ecológico ha tomado auge, éste constituye un significativo ingreso económico tanto para la provincia como para el país.

[38] Proyecciones INEC CEPAL Serie 01 N° 206, Período 2001 - 2010

2.2.4 EDUCACIÓN

Según datos de la Dirección Nacional de Educación de la provincia de Cotopaxi, se atendió en 58 establecimientos pre-primarios; 97 primarios y 12 de educación media en los sectores rurales. Existen programas tendientes a preservar la identidad cultural de los pueblos de esta provincia que se los difunde a través de un medio de comunicación radial, emisora.

En el cantón Latacunga, se jugaba “el boliche” en la época de Finados. Este juego solamente lo podían jugar los hombres y se realizaban apuestas. Más tarde tuvo variaciones y se jugó con la perinola.

A inicios de Noviembre se celebra la tradicional fiesta de la “Mama Negra”, esta se inicia a las 12 del día y parten de la casa del capitán y termina en la iglesia de la Merced, en donde se celebra la misa. En la procesión se destaca el personaje de la “Mama Negra”, representada por un hombre que se disfraza de mujer con ropas autóctonas y pinta su cara de negro. Este personaje va montado sobre un caballo también muy adornado. Lleva en sus brazos a un niño pequeño.

A este personaje le siguen: un sirviente cargado de provisiones, un grupo de disfrazados que van lanzando champús a los espectadores, el Rey Moro, y sus embajadores que portan el emblema de España, los curanderos (huacos), que llevan una cornamenta de venado con la cual se acercan a los espectadores emitiendo gruñidos, los urco yapas, que representan el dios cerro o monte, para lo cual se disfrazan con un traje de paja del páramo, las camisonas lanzan colaciones a los presentes y cuando estos las van a recoger, son golpeados con una fusta.

Participan comparsas que representan a diferentes personajes y se efectúan varios actos rituales.

En estas festividades representan un papel importante los priostes, que son los patrocinadores de todas las actividades que se desarrollan en estos eventos donde se unifica lo cristiano y lo pagano.

Estas festividades son ocasión para saborear deliciosos platos de la cocina popular, entre los platos tradicionales mencionaremos: los chugchucaras, allullas, queso de hoja, café con humitas.

Estas manifestaciones culturales son expresiones del sentimiento mismo de los pueblos. Están sus creencias, su religiosidad.

En ellas se encuentran unificados diferentes estilos de vida pre-hispánico e hispánico.

2.2.5 SERVICIOS BÁSICOS

- Un significativo porcentaje de la población carece de alcantarillado, apenas lo poseen el 69% de viviendas.
- Agua entubada dentro de la vivienda: 63%.
- Energía eléctrica 94%.
- Servicio telefónico 42%.
- Servicio de recolección de basuras: 57% de las viviendas.

En síntesis, el déficit de servicios residenciales básicos alcanza al 88% de viviendas[39].

2.3 ESTADO ACTUAL DE LAS COMUNICACIONES EN EL CANTÓN LATACUNGA

2.3.1 TELEFONÍA FIJA

2.3.1.1 Andinatel S.A.

Empresa que presta los servicios en el cantón Latacunga provincia de Cotopaxi y se tiene estipulado para finales del 2008 con la entrega de 2.560 líneas a través

[39] INEC - Instituto Nacional de estadísticas y Censos

de una moderna central que garantiza una comunicación con calidad, los beneficiados serán las zonas rurales de la provincia de Cotopaxi[40].

La empresa cumplirá con la comercialización e instalación de líneas para las poblaciones de: Aláquez (1.000); Belisario Quevedo (1.000); Antonio José Holguín (160) y Mulalillo (400).

La moderna tecnología que ANDINATEL está implementando, hace posible que los habitantes de Cotopaxi tengan acceso a servicios como: llamada en espera, transferencia de llamadas, identificación de llamadas, buzón de mensajes, entre otros.

LÍNEAS DE TELEFONÍA FIJA INSTALADAS EN LATACUNGA						
CANTÓN	OPERADORA	Líneas principales				TOTAL POR PROVINCIA
		De Abonado	De Servicio	De Teléfonos Públicos	Total	
LATACUNGA	ANDINATEL S.A.	14.259	56	136	14.451	35.079

Tabla 2.3. Líneas de Telefonía fija en Latacunga (Diciembre 2007)

Donde:

Líneas de Abonado: Constituyen las líneas telefónicas instaladas para el servicio residencial (A y B) y comercial(C).

Líneas de Servicio: Constituyen las líneas telefónicas que tiene instalada la empresa para su propio uso.

Teléfonos Públicos: Constituyen las líneas telefónicas instaladas para el servicio de telefonía pública (monederos, tarjeteros, y locutorios).

Líneas Principales: Total de líneas de abonados, de servicio y de teléfonos públicos.

2.3.2 TELEFONIA MÓVIL CELULAR

Los servicios de telecomunicaciones que prestan cualquier sistema de telecomunicaciones, incluidos los servicios que prestan las operadoras celulares en el Ecuador están sujetos a la regulación y el control de los organismos

[40] Unidad de Prensa ANDINATEL S.A.

pertinentes, los cuales regularán los servicios que pueden darse y bajo qué circunstancias.

2.3.2.1 Conecel S.A. (PORTA)

CONECEL S.A. (Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones S.A.), más conocido como PORTA, concesionaria del servicio de telefonía móvil desde 1993, y asignada las siguientes bandas de frecuencia, Con un total de 35 MHz.

Banda A: 824-835MHz y 845-846.5 MHz (UPLINK)
Banda A`: 869-880MHz y 890-891.5MHz (DOWNLINK)
Banda E: 1885-1890 MHz
Banda E': 1965-1970 MHz
Tecnología: TDMA, GSM.

2.3.2.2 Otecel S.A. (Telefónica Móviles)

Telefónica Móviles, también conocido como Movistar, quien inició sus operaciones en Octubre de 2004 con la adquisición del 100% de las acciones de OTECEL. SA, y concesionaria del servicio de telefonía móvil desde 1993, y asignada las siguientes bandas de frecuencia, Con un total de 35 MHz.

Banda B: 835-845MHz y 846.5-849MHz (UPLINK)
Banda B`: 880-890MHz y 891.5-894MHz (DOWNLINK)
Banda D: 1865-1870MHz
Banda D': 1945-1950MHz
Tecnología TDMA, CDMA, GSM.

2.3.2.3 Telecsa S.A. (Alegro PCS)

En el caso de TELECSA S.A (Telecomunicaciones Móviles del Ecuador), más conocida con el nombre comercial de Alegro PCS quien es concesionaria del Estado Ecuatoriano desde el 2003 para la prestación del Servicio Móvil Avanzado (SAM) definidos por la regulación ecuatoriana, otorgándole inicialmente 30MHz, y en lo posterior 10 MHz, en los siguientes rangos de frecuencias.

Banda C: 1895-1910MHz
Banda C´: 1975-1990MHz
Banda F: 1890-1895 MHz
Banda F´: 1970-1975 MHz
Tecnología: CDMA, GSM.

Telefonía Móvil por Operadora

ABONADOS DE TELEFONÍA MOVIL				
CANTÓN	CONECEL	OTECEL	TELECSA	TOTAL
LATACUNGA	33.844	17.788	747	52.379

Tabla 2.4. Abonados de Telefonía Móvil

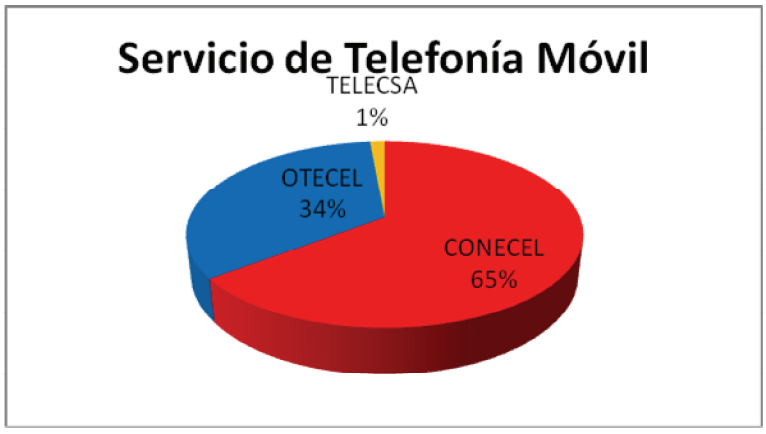


Figura 2.4: Cobertura en el Cantón Latacunga

	MOVISTAR		ALEGRO		PORTA
	CDMA	GSM	CDMA	GSM	GSM
ALÁQUEZ	Si	Si	Si	Si	Si
BELISARIO QUEVEDO	Si	Si	Si	Si	Si
GUAYTACAMA	Si	Si	Si	Si	Si
JOSEGUANGO BAJO	Si	Si	Si	Si	Si
MULALÓ	Si	Si	Si	Si	Si
11 DE NOVIEMBRE	No	Si	Si	Si	Si
POALÓ	No	No	Si	Si	Si
SAN JUAN DE PASTOCALLE	Si	Si	Si	Si	Si
TANICUCHÍ	Si	Si	Si	Si	Si
TOACASO	No	Si	Si	Si	Si

Tabla 2.5. Tecnología de las operadoras celulares en Latacunga

Operadoras que dan servicio de Internet

OPERADOR	Cuentas Conmutadas	Cuentas Dedicadas
ANDINATEL S.A.	si	si
AMOGHI S.A.	si	si
MEGADATOS	si	si
SATNET	si	no
SITA	si	si
TELCONET	si	si

Tabla 2.6. Operadores de Servicio de Internet

Donde:

Cuentas Conmutadas: Son cuentas de Internet que para hacer uso del servicio el usuario debe realizar la acción de marcar a un número determinado ya sea a través de las redes de telefonía fija o móvil.

Cuentas Dedicadas: Son todas aquellas cuentas que utilizan otros medios que no sea Dial Up para acceder a Internet como puede ser ADSL, Cable Modem, Radio, etc.

2.3.3 OTROS SERVICIOS[41]

Provincia	Onda Corta O.C	Amplitud Modulada A.M.	Frecuencia Modulada F.M		Total Radiodifusión Sonora
			Matriz	Repetidora	
Cotopaxi	1	13	13	1	28

Tabla 2.7. Estaciones de Radiodifusión

Provincia	Televisión Abierta		Total Televisión abierta	Total Televisión por cable	Televisión Codificada Terrestre	Total Estaciones R,TV, Audio&Video
	VHF	UHF				
Cotopaxi	5	2	7	8	0	22

Tabla 2.8. Estaciones de Televisión

2.4 SELECCIÓN DE POBLACIONES

2.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOCALIDADES

El proyecto está destinado a brindar un servicio de Internet a zonas rurales del cantón Latacunga, y por ende se orienta a prestar servicio a la comunidad, entonces una forma de realizarlo es proveer el servicio de Internet a los centros educativos, ya que ellos son el pilar fundamental en el desarrollo de las comunidades.

2.4.2 PRINCIPALES CENTROS EDUCATIVOS

Los datos expuestos a continuación, que serán utilizados para estimar la demanda fueron obtenidos de la base de datos de la Dirección Provincial de Educación de Cotopaxi.

[41] Datos actualizados a agosto de 2008 "SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR"

PLANTEL	PARROQUIA	NIVEL	ALUMNOS
S. RODRIGUEZ (INST.TECNOL.AGROP.)	ALAQUES (ALÁQUEZ)	Medio	389
GONZALO ALBAN RUMAZO	ALAQUES (ALÁQUEZ)	Medio	69
ABDON CALDERON	ALAQUES (ALÁQUEZ)	Primario	279
AUGUSTO MALDONADO	ALAQUES (ALÁQUEZ)	Primario	134
TOTAL			871
EUDOFILO ALVAREZ	BELISARIO QUEVEDO	Medio	172
LUIS FELIPE CHAVEZ	BELISARIO QUEVEDO	Primario	272
CANADA	BELISARIO QUEVEDO	Primario	98
TOTAL			542
PATRIA	GUAYTACAMA	Medio	296
SAN JOSE	GUAYTACAMA	Medio	250
EUGENIO ESPEJO-DIEZ DE AGOSTO	GUAYTACAMA	Primario	416
PATRIA	GUAYTACAMA	Primario	407
SANTA MARIANA DE JESUS	GUAYTACAMA	Primario	235
HERMANOS PAZMIÑO	GUAYTACAMA	Primario	152
RIOBAMBA	GUAYTACAMA	Primario	113
TOTAL			1.869
FELIX VALENCIA	JOSEGUANGO BAJO	Primario	127
MANUEL J. CALLE	JOSEGUANGO BAJO	Primario	77
TOTAL			204
MULALÓ	MULALÓ	Medio	161
J. P. MONTUFAR-J. DE DIOS MORALES	MULALÓ	Primario	448
JUAN LEON MERA	MULALÓ	Primario	167
GRAL.LEONIDAS PLAZA GUTIERREZ	MULALÓ	Primario	127
TOTAL			903
LUIS FERNANDO RUIZ	11 DE NOVIEMBRE	Primario	86
TOTAL			86
POALÓ	POALÓ	Medio	70
GARCIA MORENO	POALÓ	Primario	162
JOSE VASCONCELOS	POALÓ	Primario	104
CINCO DE OCTUBRE	POALÓ	Primario	83
ANDRES CHOLOQUINGA	POALÓ	Primario	83
TOTAL			502

PASTOCALLE (TECNICO INDUSTRIAL)	S .J. DE PASTOCALLE	Medio	176
MANUEL MATHEU	S .J. DE PASTOCALLE	Primario	493
ATANASIO VITERI KAROLYS	S .J. DE PASTOCALLE	Primario	206
RAFAEL CAJIAO ENRIQUEZ	S .J. DE PASTOCALLE	Primario	176
MACAS	S .J. DE PASTOCALLE	Primario	129
CORONEL GERMANICO RIVADENEIRA	S .J. DE PASTOCALLE	Primario	123
QUITO	S .J. DE PASTOCALLE	Primario	122
TOTAL			1.425

SARA MA. BUSTILLOS DE ATIAGA	TANICUCHÍ	Medio	339
GRAL. MARCO AURELIO SUBIA M.	TANICUCHÍ	Medio	306
BATALLA DE PANUPALI	TANICUCHÍ	Primario	648
JUAN MANUEL LASSO	TANICUCHÍ	Primario	335
ECUADOR	TANICUCHÍ	Primario	137
AMBATO	TANICUCHÍ	Primario	133
UNION NACIONAL DE EDUCADORES	TANICUCHÍ	Primario	116
TOTAL			2.014

TOACASO	TOACASO	Medio	298
EL CHAQUIÑAN T. AGROFORESTAL	TOACASO	Medio	223
SIMON RODRIGUEZ	TOACASO	Primario	538
LUIS FELIPE BORJA	TOACASO	Primario	368
CORONEL HECTOR A. ESPINOZA	TOACASO	Primario	207
LUISA SAYAS DE GALINDO	TOACASO	Primario	125
DR. ENRIQUE IZURIETA	TOACASO	Primario	114
FRANCISCO HUERTA RENDON	TOACASO	Primario	106
TOTAL			1.979

TOTAL CANTÓN LATACUNGA	**10.395**

Tabla 2.9. Centros Educativos seleccionados del Cantón Latacunga

2.4.3 ENCUESTA

La encuesta es el instrumento que permite la recolección ordenada de la información que servirá para conocer el comportamiento de toda la población.

Antes de su elaboración se debe precisar, con claridad, los objetivos de la investigación y que información necesitaremos obtener para que, después de su análisis estadístico lleguemos a conclusiones que sean aplicables a toda su población.

Objetivo: La encuesta, tiene por objeto determinar los siguientes parámetros:

- Analizar el grado de aceptación para que en las zonas rurales exista un servicio de Internet inalámbrico.
- Conocer el número de personas que utilizarían la red inalámbrica, con mayor frecuencia.
- Determinar el porcentaje de utilización de los servicios propuestos y en base a estos, dimensionar el respectivo ancho de banda necesario.

Grupo Meta: Personas de los centros de educación primaria y media de las parroquias rurales del cantón Latacunga.

Tamaño de la Muestra: La encuesta, se realizó a un número considerables de estudiantes de varios establecimientos rurales. Para determinar el número de encuestas se utilizó el método del "Muestreo aleatorio simple"[42].

Este método se basa en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{{Z_c}^2 * N * p * (1-p)}{e^2 * N + {Z_c}^2 * p * (1-p)} \quad [\text{Ec. } 2.2]$$

Donde:

n = Tamaño de la Muestra.

N = Tamaño de la Población.

Z_C = Nivel de confianza.

p = Probabilidad.

e = error, es la máxima diferencia que se quiera que exista entre el tamaño de población y el tamaño de la muestra.

[42] Curso de evaluación y gestión de proyectos, Viabilidad Técnica y Comercial.

El nivel de confianza Z_C, se muestra a continuación.

Nivel de Confianza %	92	93	94	95	96	97	98	99
Z_C	1.75	1.81	1.88	1.96	2.05	2.16	2.33	2.58

Tabla 2.10. Nivel de Confianza

Valores de Z_C, correspondientes a diferentes niveles de confianza, siendo comúnmente utilizado el 95%, y como el error máximo permitido asumido es del 7%. Reemplazando estos valores en la ecuación 2.2, obtendremos el siguiente resultado, determinando así, el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 109080 * 0.5 * (1 - 0.5)}{(0.07)^2 * 109080 + (1.96)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$

$$n = \frac{(1.96)^2 * 109080 * (0.5)^2}{(0.07)^2 * 109080 + (1.96)^2 * (0.5)^2}$$

$$n = 195\ personas$$

La encuesta, fue diseñada de tal manera que la persona encuestada pueda seleccionar la respuesta que más se ajuste a su preferencia, para la aplicación de la encuesta, se tuvo la participación de los estudiantes de los establecimientos rurales del cantón Latacunga y público en general.

2.4.3.1 Resultados de la Encuesta

- *Información General.*

Pregunta 1. Nivel de Educación.

El objetivo de esta pregunta, es segmentar el mercado de posibles usuarios que utilizarían el servicio de Internet y lo dividimos por años como son 7, 8, 9,10 año de educación Básica, así como 1, 2, 3 año de Bachillerato.

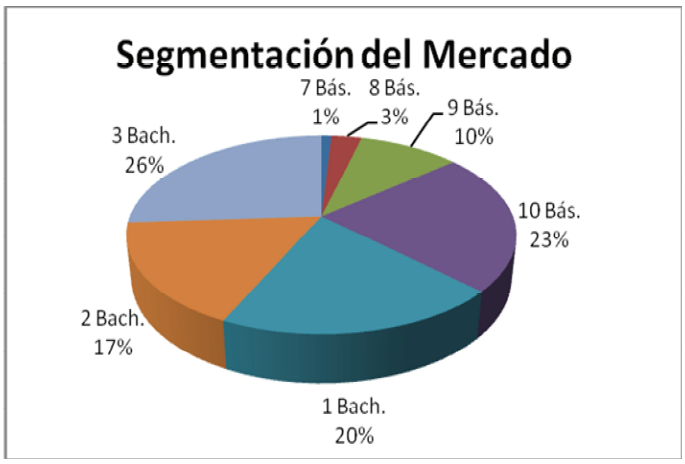


Figura 2.5: Segmentación del mercado

Pregunta 2. Vivienda y Tipo de Vivienda

El Objetivo de esta pregunta es conocer en qué condiciones socio económicas viven las personas, ya que mediante estos parámetros estamos definiendo la situación actual del grupo meta, para eso realizamos la consulta de vivienda propia, arrendada y cuidando. Así como el tipo de construcción ya sea de cemento, madera, adobe, mixta (madera-adobe, cemento-madera).

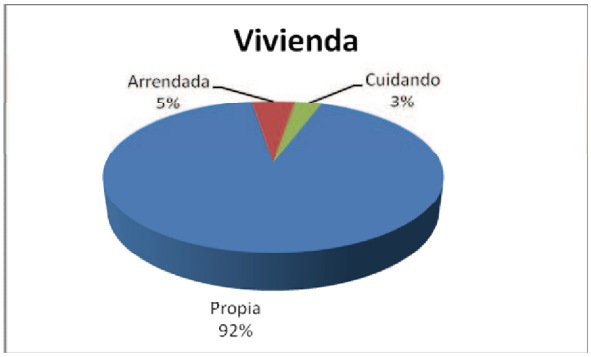


Figura 2.6: Vivienda

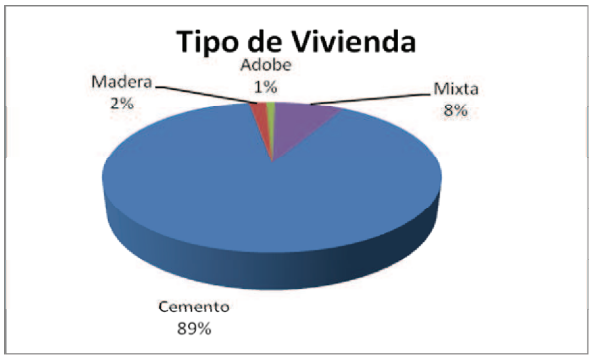


Figura 2.7: Tipo de Vivienda

- *Información Específica.*

Pregunta 3. Señale el número de veces que utiliza los servicios de Internet.
El objetivo de esta pregunta, es conocer que tan a menudo los usuarios acuden a un centro de internet.

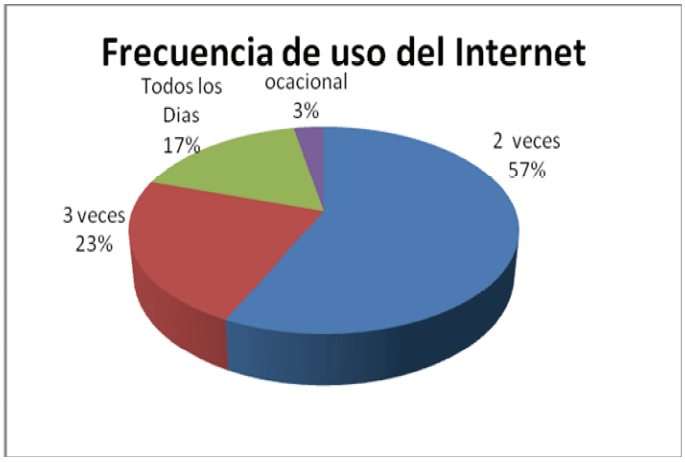


Figura 2.8: Frecuencia de uso del Internet

Pregunta 4. Señale el tiempo aproximado que utiliza Internet.
El objetivo de esta pregunta, es conocer el tiempo aproximado que los usuarios harían uso del internet, y así obtener un tiempo promedio de uso.

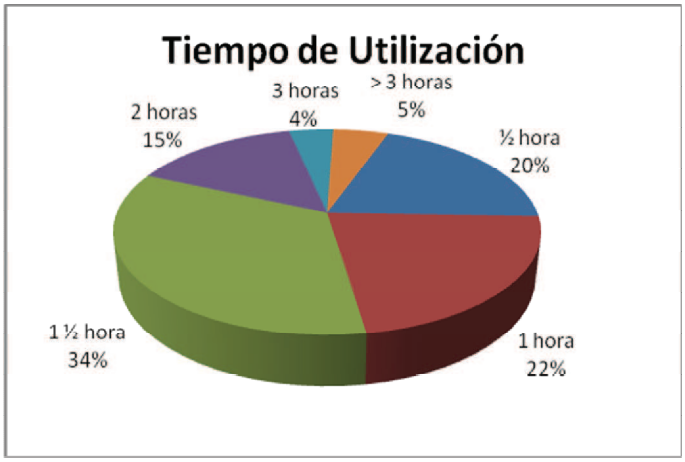


Figura 2.9: Tiempo de Utilización del Internet

Pregunta 5. Señale los servicios que usualmente utiliza del Internet.

El objetivo de esta pregunta, es identificar los servicios que el usuario utilizaría con mayor frecuencia.

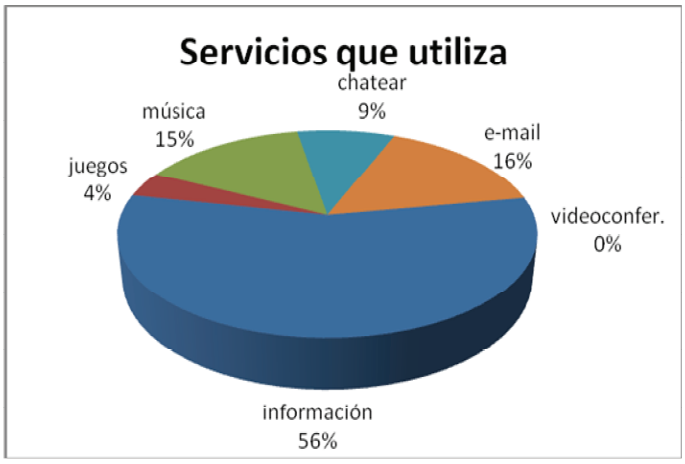


Figura 2.10: Servicios que busca en Internet

Pregunta 6. Señale el precio por hora que paga por los servicios de Internet.

El objetivo de esta pregunta, es conocer el estado actual de los precios que los usuarios pagan por hora de utilización en el internet.

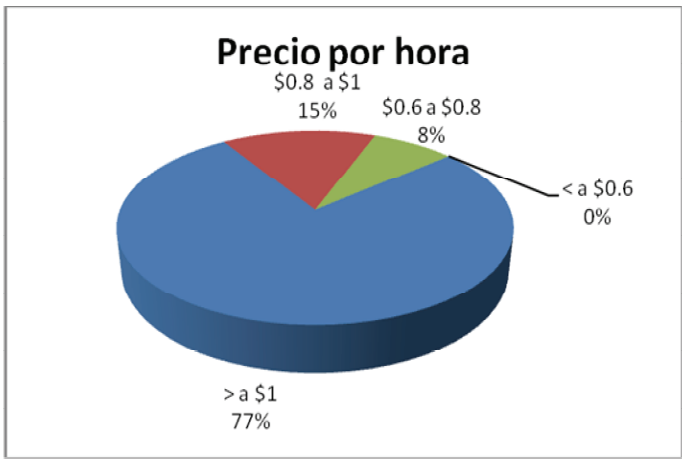


Figura 2.11: Precio por hora del servicio de Internet

Pregunta 7. Señale los medios por los cuales conoció los centros de Internet y si ellos ofrecen alguna promoción.

El objetivo de esta pregunta, es saber cómo entro a posicionarse en el mercado ciertos locales de internet, además conocer cuáles son sus debilidades o sus fortalezas.

Figura 2.12: Medios de Publicidad

Figura 2.13: Promociones en los locales de Internet

- *Información Adicional.*

Pregunta 8. Disponen de teléfono fijo o celular.

El objetivo de esta pregunta, es para conocer el índice de penetración telefónica, tanto fija como celular.

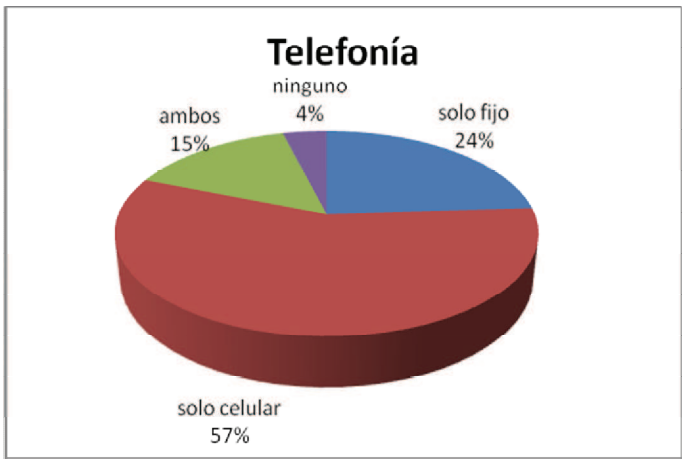


Figura 2.14: Telefonía fija y/o celular

Pregunta 9. Dispone de computador.

El objetivo de esta pregunta, es saber el porcentaje de usuarios que tienen accesibilidad a una computadora en casa.

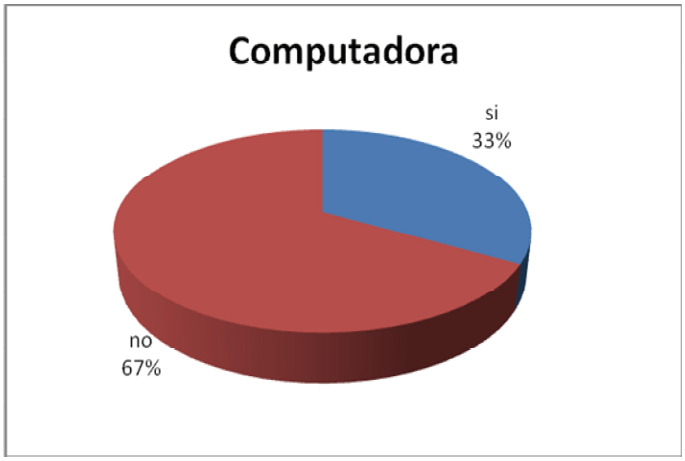


Figura 2.15: Disponibilidad de una computadora

Pregunta 10. En su barrio tiene acceso a un centro de Internet.

El objetivo de esta pregunta, es conocer cuál es el índice de penetración de internet en los sectores rurales del cantón Latacunga.

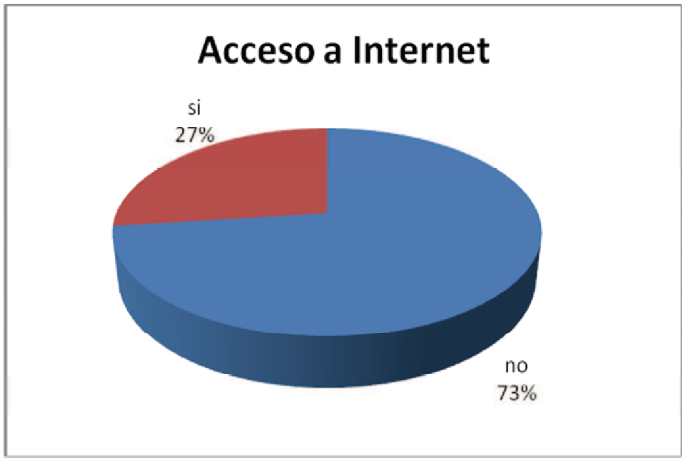


Figura 2.16: Accesibilidad al Internet

Pregunta 11. Tiene en su Escuela o Colegio un laboratorio con servicio de Internet.

El objetivo de esta pregunta, es conocer si los centros educativos disponen de un laboratorio de computación y estos disponen de internet.

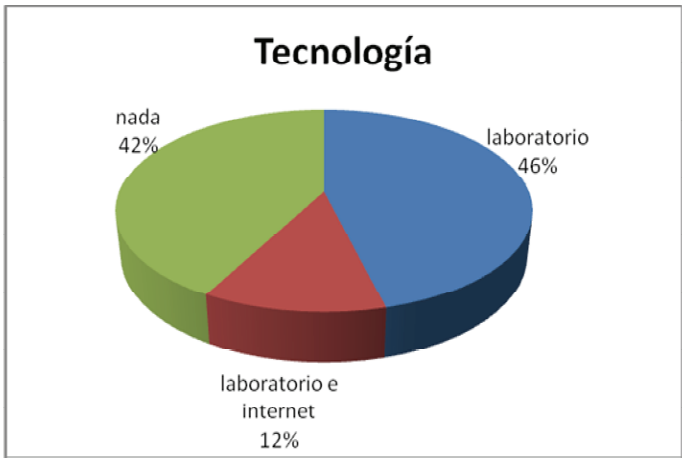


Figura 2.17: Disponibilidad de un Laboratorio de Computación

Pregunta 12. Cree Ud. Que en su barrio o centro Educativo se debería crear o mejorar el Internet.

El objetivo de esta pregunta, es para saber el grado de aceptación o rechazo de un centro inalámbrico de internet.

Figura 2.18: Aceptabilidad de un Centro de Internet

2.4.3.2 Análisis de los resultados obtenidos de la encuesta.

Se realizo la encuesta a un total de 205 personas, ya que en la teoría indicaba que el número de encuestas es de 195, esto surge porque se toma un margen adicional de error que es del 5%.

Las encuestas se realizaron en las diez parroquias rurales del cantón Latacunga, dando prioridad a los estudiantes de nivel medio.

- Las personas de estos sectores disponen de una situación económica media-baja.
- El internet es usado en su mayoría por estudiantes que se encuentran en Décimo de Básica con un 23%, mientras que los estudiantes de Bachillerato alcanzan el 63%.
- El 46% de los establecimientos educativos tienen un laboratorio de computación, y un 12% tienen conexión a internet.
- Un 57% de las personas utilizan el Internet alrededor de dos veces a la semana, y el tiempo de uso promedio es mayor a una hora.
- En cuanto a los servicios que más utilizan, esta un 56% en bajar información general y específica, un 16% en e-mail, un 15% en bajar música, así como el chat y los juegos en red alrededor del 13%.
- El 77% de los usuarios pagan más de 1 dólar la hora de internet.
- El 81% de los usuarios se han enterado mediante letreros la existencia de un centro de internet, los cuales no ofrecen en su mayoría promociones y un 30% de los locales dan minutos extras y/o precios bajos por temporada vacacional.
- El 57% de los usuarios disponen solo de celular, así como el 24% tienen solo teléfono fijo, alrededor del 15% tienen los dos servicios y un 4% no disponen de teléfono.
- El 33% dispone de un computador en casa, y el acceso a internet en su barrio es del 27%.

2.4.4 PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RED

El objetivo de este proyecto es brindar a los usuarios de la red un servicio con parámetros de QoS. Para cumplir con este propósito, es necesario saber los tipos de aplicaciones que correrán en la red y tener una idea general de cuantos posibles usuarios se tendrá. Todo esto será de mucha ayuda para el correcto dimensionamiento de la capacidad de la red.

Para analizar la capacidad de la red, es necesario determinar el ancho de banda promedio que consume las distintas aplicaciones como son: bajar información, e-mail, música, chat. En base al análisis de las aplicaciones anteriores y a las encuestas realizadas a los estudiantes y público en general, se pretende tener una idea general de la capacidad de ancho de banda que se necesitaría contratar al proveedor de servicios de Internet (ISP) y además poder hacer un correcto dimensionamiento de nuestra red.

CAPÍTULO 3

3 DISEÑO DE LA RED MESH

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo aborda el diseño de una red WMNs para las áreas seleccionadas, tomando en cuenta o identificando los diferentes requisitos tecnológicos y necesidades de la población que conlleva diseñar dicha red. Se hace mención sobre los equipos WMNs que en la actualidad están disponibles en el mercado con el fin de seleccionar los productos que mejor se adapten a las necesidades específicas del área seleccionada.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO PARA REDES INALÁMBRICAS EN ÁREAS RURALES

La población rural del catón Latacunga constituye un gran porcentaje del total de la población de este cantón, pese a lo cual es generalizada la carencia de infraestructuras de comunicación y acceso a la información. El reto es dotar a estás zonas de conectividad a redes de información.

No obstante, todos los esfuerzos por dotar de acceso a redes de comunicación en zonas rurales se suele topar desde los primeros pasos con la ausencia de soluciones tecnológicas realmente apropiadas, realistas y sostenibles, debido en gran parte a las siguientes causas:

- Un gran porcentaje de la población es pobre y dispersa, por lo que no puede soportar costos altos de infraestructuras para la implementación de redes de comunicaciones.

- Estás zonas no sólo carecen de infraestructura de telecomunicaciones, también suele ser prácticamente inexistente o de mala calidad.

- La infraestructura de electrificación y, en muchos casos las vías de acceso, son deficientes o de mala calidad.

- Puede existir la necesidad de dotar a los sistemas de telecomunicación de alimentación eléctrica autónoma para garantizar su funcionamiento continuo.

Frente a este panorama la red que se pretende aplicar de manera sostenible en entornos rurales, tiene que ser robusta y sencilla de usar, y en lo posible tendrá que requerir del menor número de personal especializado para dar el mantenimiento respectivo.

3.3 VISIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA DEL DISEÑO DE LA RED WMNS

De los resultados obtenidos en el capítulo anterior, resume un conjunto de características sobre la situación actual de las comunicaciones en las parroquias rurales del cantón Latacunga correspondiente a la provincia de Cotopaxi.

Nos centraremos exclusivamente en diseñar una red WMNs para dar servicios de internet a escuelas y colegios, con mayor número de estudiantes, para las áreas seleccionadas, puesto que este sector en particular, es el que más requiere del acceso a la información.

Se ha hecho está consideración debido a dos características muy importantes:

- **Concentración demográfica**: Por regla general como lo demuestran los mapas de las parroquias que constan en el anexo **A**, las escuelas y colegios con mayor número de estudiantes están ubicados en el centro de las parroquias o cerca del centro, y por ende en los alrededores está la mayor concentración de habitantes para cada área en particular. Esto significa que las escuelas y colegios son puntos estratégicos. Ya que al tener estos sitios puntos de acceso a la red WMNs se hace relativamente fácil brindar cobertura al resto de la población que esté interesada en acceder al servicio, solamente se requiere la ubicación de enrutadores inalámbricos con tecnología Mesh conectado(s) a esto(s) punto(s) de acceso del colegio o de la escuela.

- **Sector más necesitado:** Puesto que los estudiantes de colegios y escuelas constituyen el pilar fundamental en el desarrollo de dichas regiones, es fundamental que ellos cuenten con información actualizada sobre temas de investigación y educación que les ayude a desenvolverse de mejor manera en el futuro. Y esto se logrará si los centros educativos

tienen un acceso moderno a la información para sus estudiantes como se pretende a través de la red WMNs.

Uno de los retos para el diseño será describir y justificar la arquitectura de la red. La idea principal es construir una red troncal en malla que constituye la columna vertebral de la red a ser diseñada y que garantice la conectividad en las zonas seleccionadas, el estándar empleado para los enlaces de la red troncal será IEEE 802.11. La figura 3.1 muestra la arquitectura que implementaremos para el diseño de la red WMNs.

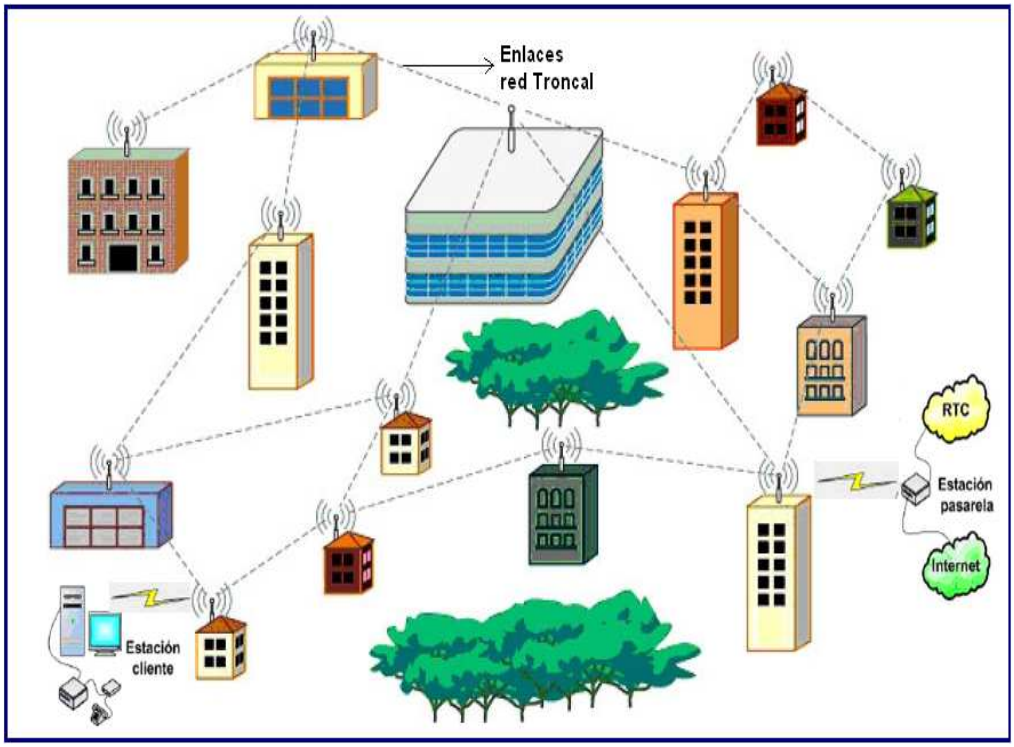


Figura 3.1: Arquitectura de red WMNs

Las Redes Inalámbricas Mesh (WMNs) consisten en dos tipos de nodos los repetidores y los clientes, donde los repetidores tienen movilidad mínima y forman la red transporte de la red WMNs. Estás redes pueden integrarse a otras como Internet, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, etc. Los clientes pueden ser estáticos o móviles y pueden crear una red mallada entre ellos mismos o con los repetidores. Estás redes solucionan las limitaciones y mejoran el rendimiento de las redes ad hoc.

Gracias a la posibilidad de conectarse a distintos puntos de acceso en lugar de uno sólo, se aumenta el ancho de banda que puede tener cada cliente, también

resulta mucho más estable, ya que puede seguir funcionando aunque caiga un nodo, en cambio en las redes habituales si cae un punto de acceso los usuarios de ese punto de acceso se quedan sin servicio. De los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se resume un conjunto de características sobre la situación actual de las comunicaciones en las parroquias rurales del cantón Latacunga correspondiente a la provincia de Cotopaxi.

Nos centraremos exclusivamente en diseñar una red WMNs para dar servicios de internet a escuelas y colegios, con mayor el número de estudiantes, para las áreas seleccionadas, puesto que este sector en particular, son los que más requieren del acceso a la información.

Se ha hecho está consideración debido a dos características muy importantes:

- **Concentración demográfica**: Por regla general como lo demuestran los mapas de las parroquias que constan en el anexo **A**, las escuelas y colegios con mayor número de estudiantes están ubicados en el centro de las parroquias o cerca del centro, y por ende en los alrededores está la mayor concentración de habitantes para cada área en particular. Esto significa que las escuelas y colegios son puntos estratégicos. Ya que al tener estos sitios puntos de acceso a la red WMNs se hace relativamente fácil brindar cobertura al resto de la población que estén interesados en acceder al servicio, solamente se requiere la ubicación de enrutadores inalámbricos con tecnología Mesh conectado(s) a esto(s) punto(s) de acceso del colegio o de la escuela.

- **Sector más necesitado:** Puesto que los estudiantes de colegios y escuelas constituyen el pilar fundamental en el desarrollo de dichas regiones, es fundamental que ellos cuenten con información actualizada sobre temas de investigación y educación que les ayude a desenvolverse de mejor manera en el futuro. Y esto se logrará si los centros educativos tienen un acceso moderno a la información para sus estudiantes como se pretende a través de la red WMNs.

Uno de los retos para el diseño será describir y justificar la arquitectura de la red. La idea principal es construir una red troncal en malla que constituye la columna vertebral de la red a ser diseñada y que garantice la conectividad en las zonas seleccionadas, el estándar empleado para los enlaces de la red troncal será IEEE 802.11. La figura 3.1 muestra la arquitectura que implementaremos para el diseño de la red WMNs.

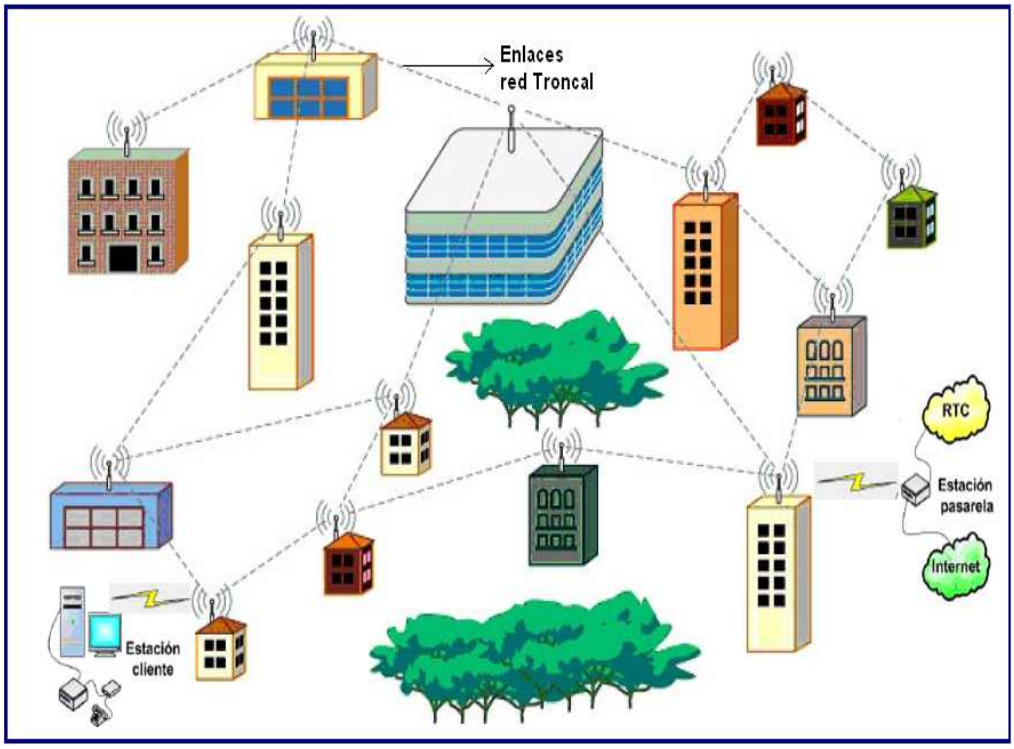


Figura 3.1: Arquitectura de red WMNs

Las Redes Inalámbricas Mesh (WMNs) consisten en dos tipos de nodos los repetidores y los clientes, donde los repetidores tienen movilidad mínima y forman la red transporte de la red WMNs. Estás redes pueden integrarse a otras como Internet, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, etc. Los clientes pueden ser estáticos o móviles y pueden crear una red mallada entre ellos mismos o con los repetidores. Estás redes solucionan las limitaciones y mejoran el rendimiento de las redes ad hoc.

Gracias a la posibilidad de conectarse a distintos puntos de acceso en lugar de uno sólo, se aumenta el ancho de banda que puede tener cada cliente, también resulta mucho más estable, ya que puede seguir funcionando aunque caiga un nodo, en cambio en las redes habituales si cae un punto de acceso los usuarios de ese punto de acceso se quedan sin servicio.

3.4 REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE LA RED WMNS

3.4.1 REQUISITOS GENERALES

Se identificaron los siguientes requisitos generales para la red WMNs:

- **Fácil despliegue**

  Los nodos de la red deben ser de fácil instalación y configuración.

- **Robustez**

  La red debe ser sólida y ofrecer suficiente redundancia de rutas, también debe ser de auto detección y corrección de problemas que existan dentro de la red

- **Los servicios de banda ancha**

  Mensajes de texto y servicios de voz, imagen, vídeo con calidad de servicio (QoS), por ejemplo priorización de tráfico deben aplicarse con el fin de ajustar la red a las necesidades de estos servicios.

- **El uso del protocolo estándar**

  Protocolos de comunicación estándar son preferibles con el fin de facilitar la interoperabilidad entre los dispositivos de comunicación.

- **Equipo asequible**

Se prefiere el uso de la tecnología de fácil adquisición, a fin de construir una red WMNs a bajo precio.

3.4.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS

- **Requisitos de radio y topología de la red**

Múltiples interfaces de radio: El uso de múltiples interfaces de radio y diferentes canales, podrá maximizar la capacidad de la red WMNs, con múltiples canales de radio disponibles, uno de ellos puede dedicarse a fines de backhaul[43], mientras

[43] Un Backhaul sirve para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas, además conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación.

que los otros canales disponibles pueden ser utilizadas para la comunicación entre los nodos de la red troncal y clientes. Además, lo que permite evitar el uso de una frecuencia con interferencia, está característica hace que el WMNs sea más robusta.

Tecnología de interfaz de radio: La banda de 2,4 GHz y 5.8 GHz son utiles para conectar ordenadores portátiles a una red WMNs, la conectividad inalámbrica de los dispositivos de este tipo se basa actualmente en el estándar IEEE 802.11b/g.

- **Requisitos de funcionamiento**

Latencia de extremo a extremo: El retardo de extremo a extremo debe mantenerse en valores aceptables, ya que afecta el rendimiento de las comunicaciones de datos, sobre todo en tiempo real de servicios tales como las comunicaciones de voz. Por ejemplo para los servicios de VoIP el retardo de extremo a extremo debe ser menor a 150 ms.

El ancho de banda de extremo a extremo: Nos referimos al ancho de banda disponible en una ruta sin enlaces rotos, debe estar disponible para permitir el uso de varios servicios como voz, video etc. Para las comunicaciones de voz se recomienda un mínimo de 5 Kbps, mientras que para video de 200 Kbps.

Retardos a los cambios de Ruta: La conectividad de nuevas rutas deberá reducirse al mínimo, maximizando así la disponibilidad del servicio.

- **Requisitos del protocolo de enrutamiento**

El protocolo de enrutamiento según la arquitectura con la que vamos a trabajar es OLSR **(Protocolo de Enrutamiento de estado para enlaces optimizados)**. Debido a las siguientes características: cada nodo tiene una asignación de ruta establecida durante todo el tiempo de transmisión, esto ayuda a reducir la latencia de extremo a extremo, utiliza poca cantidad de mensajes de control,

- **Seguridad**

Servicios de seguridad tales como la privacidad, la autenticación y la integridad, son generalmente deseados.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA A EMPLEARSE EN EL DISEÑO DE LA RED WMNs

3.5.1 REDES WI-FI PARA LARGAS DISTANCIAS

La familia de estándares IEEE 802.11 a/b/g, más conocida como Wi-Fi, tiene asignadas las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz para uso en las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado con objeto de lograr redes de área local inalámbricas (WLAN).

El gran ancho de banda (entre 1 y 11 Mbps para 802.11b y hasta 54Mbps para 802.11a/g), lo presenta como una de las mejores opciones para la transmisión de datos en forma inalámbrica. Este estándar, puede ser utilizado (bajo ciertas condiciones) para implementar redes inalámbricas que requieren de enlaces de larga distancia. Por ejemplo en Perú se a logrado establecer enlaces de alrededor de 40Km de distancia utilizando el estándar IEE802.11. Las ventajas e inconvenientes que se presentan el uso de esta tecnología se indican a continuación.

3.5.1.1 Ventajas

Uso de frecuencias sin licencia de las bandas ISM 2.4 / 5.8 GHz con ciertas limitaciones de potencia.

Velocidades desde 1 hasta 54 Mbps, siempre teniendo en cuenta que el rendimiento neto obtenido está alrededor de un 50-70% de esos valores.

Tecnología con estándar ampliamente conocido y fácil de configurar, lo que favorece los bajos costos de los equipos.

Bajo consumo de potencia, menor a 10 W por enrutador.

Flexibilidad: un nodo puede adherirse a la red si puede ver a uno de los nodos vecinos (las zonas rurales aisladas normalmente no siguen una distribución geométrica ordenada alrededor de un punto central).

Hardware fácilmente integrable en un sistema impermeable que soporte condiciones meteorológicas adversas.

3.5.1.2 Desventajas

Requiere línea de vista directa (esto podría elevar, en algunos casos, el número de repetidores necesarios aumentando demasiado el costo).

Al ser una tecnología creada para redes de corto alcance, hay que solventar ciertos problemas relacionados con su utilización para distancias de decenas de Kilómetros.

El número de colisiones aumenta en relación con el número de usuarios.
Tiene un número limitado de canales no interferentes, 3 en 2.4 GHz y 8 en 5.8 GHz.

3.5.2 PROBLEMÁTICA DEL USO DE WI-FI PARA LARGAS DISTANCIAS

Dado que la familia de estándares IEEE802.11 en su inicio fue diseñada para redes locales, la mayor dificultad reside en su aplicación para largas distancias.

Cuando se quiere usar WI-FI para enlaces más largos de los previstos en el estándar, cabe preguntarse donde están las limitaciones de distancia y prestaciones; en las siguientes secciones se analiza los niveles: PHY (capa física de 802.11) y MAC (capa de enlace y control de acceso al medio de 802.11).

3.5.2.1 Capa física

Los límites físicos de distancia alcanzable con Wi-Fi dependerán de los siguientes parámetros:

- La máxima potencia que podamos transmitir (PIRE).
- Las pérdidas de propagación.
- La sensibilidad de recepción.
- La mínima relación señal a ruido que se esté dispuesto a aceptar como suficiente.

El propio estándar determina que los límites de potencia que se puede transmitir dependen de los procesos en la banda de frecuencias ISM para cada región geográfica.

Además, hay algunos aspectos de la capa física que deben ser tomados en cuenta para obtener una mayor estabilidad en el enlace:

Velocidad: El protocolo IEEE802.11 recoge distintas velocidades según el modo de funcionamiento: 1, 2, 5.5 y 11 Mbps para 802.11b; 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps para 802.11a, y el conjunto de todas las anteriores para el modo 802.11g. Estos modos usan diferentes tipos de modulación y codificación, de forma que cuanto mayor sea la velocidad, mayor es la potencia necesaria en recepción para mantener un enlace con un BER bajo. Está potencia, llamada sensibilidad, obliga a usar velocidades bajas si se quiere lograr enlaces de larga distancia con una cierta estabilidad. La diferencia en la sensibilidad de recepción entre 1 y 11Mbps, suele ser de más de 10 dB, lo cual equivale prácticamente a cuadruplicar con 1Mbps el alcance que se tiene con 11Mbps. Si además se tiene en cuenta que la banda de 2.4 GHz impone limitaciones en cuanto al nivel de potencia que es legal transmitir, es fácil comprobar que para enlaces muy largos normalmente deben usarse las velocidades más bajas de 802.11b para tener estabilidad y buena calidad. La aparición de tarjetas con mejores sensibilidades o el estándar 802.11g pueden ayudar a lograr velocidades mayores.

Fenómenos meteorológicos: En las zonas rurales es frecuente encontrar condiciones meteorológicas adversas. Aunque tradicionalmente se suele decir que las lluvias influyen “de forma sensible” a partir de los 10GHz, cuando los enlaces son muy largos una pequeña atenuación en dB/Km acaba siendo importante. Los estudios que se han realizado no parecen conceder mucho peso a la atenuación de nubes y nieblas, pero todo depende de la distancia.

Polarización: El mejor comportamiento se da con polarización vertical, pero las condiciones atmosféricas y el terreno pueden producir una cierta despolarización, con lo que la recepción de la señal empeora y su atenuación aumenta.

Interferencias: Si bien en las zonas rurales aisladas esto no suele suceder, los enlaces que conectan zonas aisladas con zonas urbanas se pueden ver afectados por este problema.

3.5.2.2 Capa MAC

Asi mismo, a parte de las restricciones que impone el balance del enlace, es derecho que existan restricciones explícitas de distancia ya que los resultados lo demuestran y, además, porque la capa MAC tiene multitud de tiempos constantes definidos que tienen diferente efecto en función de la distancia que haya entre estaciones.

ACKtimeout: Este parámetro se define en el texto del estándar como el tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK[44] una vez que ha terminado la transmisión de un paquete.

Así pues, para que una comunicación Wi-Fi funcione a una determinada distancia se tiene que cumplir que el ACKtimeout sea mayor que el tiempo de propagación de ida y vuelta más el SIFS (Short Interface Space = intervalo de corta duración), un tiempo fijo que define la separación entre la recepción del paquete y la transmisión de su ACK en el receptor. No obstante, el estándar no da un valor claro a este parámetro, y los equipos Wi-Fi del mercado varían mucho en su implementación del ACKtimeout. Cuando una estación intenta enviar un paquete a otra que está demasiado distante como para recibir el ACK antes de que transcurra el ACKtimeout, se interpretará que la transmisión falló y se retransmitirá, como lo mismo le sucede a cada retransmisión; cada paquete se retransmitirá el máximo número de retransmisiónes antes de descartarse y dejar paso al siguiente. La capa Wi-Fi de la estación transmisora “creerá” que no logró mandar el paquete, pero de hecho lo probable es que hayan llegado correctamente varias copias de éste, las cuales la primera se pasará a la capa superior en el receptor. El resultado es que el enlace funciona, pero con un rendimiento ínfimo debido a que todo se retransmite varias veces, por defecto 7, lo cual impone un límite de unos 3 Km. Más allá de esa distancia, las prestaciones de los enlaces empeoran con la distancia, aunque aún resultan utilizables si el número de nodos activos es suficientemente bajo.

[44] ACKNOWLEDGEMENT (ACK) (en español acuse de recibo), en comunicaciones entre computadores, es un mensaje que se envía para confirmar que un mensaje o un conjunto de mensajes han llegado. Si el terminal de destino tiene capacidad para detectar errores, el significado de ACK es "ha llegado y además ha llegado correctamente".

Como consecuencia de lo anterior, y dependiendo del tipo de enlace que define la arquitectura de red 802.11, se puede mencionar lo siguiente.

Para enlaces punto a punto: Cuando la distancia es mayor de 3Km, el rendimiento baja proporcionalmente con la distancia, en saltos de 3Km, el número de slots en que una estación puede empezar a transmitir y colisionar con un paquete cuya transmisión se inició en un slot determinado; esto tiene relativamente poco impacto cuando la carga ofrecida es baja, pero es importante cuando el enlace está próximo a saturarse, ya que en ese caso casi siempre hay un paquete listo para ser transmitido tan pronto como se considere libre el canal, y para ventanas de contención pequeñas la probabilidad de colisión será significativa. También será necesario cuidar el ajuste del ACKtimeout fijándolo a un valor ligeramente superior a dos veces el tiempo de propagación.

Para enlaces Punto multipunto: Además de darse las mismas anomalías de comportamiento del MAC entre la estación transmisora y receptora de un paquete, las otras estaciones que observan pasivamente el canal esperando que se desocupe tomarán decisiones equivocadas al considerar que el canal está libre cuando no lo está. Por ejemplo, si la distancia hace que los ACK se reciban más tarde, la estación transmisora todavía podrá esperar por el ACK si el ACKtimeout es lo suficientemente grande, pero las otras estaciones cercanas a ésta que esperan a que el canal se libere optarán por ocupar el canal de inmediato, pudiendo colisionar con cierta probabilidad con el ACK que está en camino. Por lo que hay que fijar el ACKtimeout para enlaces más largos.

En definitiva, Wi-Fi sirve, aunque con cierta pérdida de prestaciones, para enlaces de larga distancia si los equipos terminales permiten configurar el ACKtimeout.

3.5.3 ARQUITECTURA MESH PARA REDES WI-FI PARA LARGA DISTANCIA

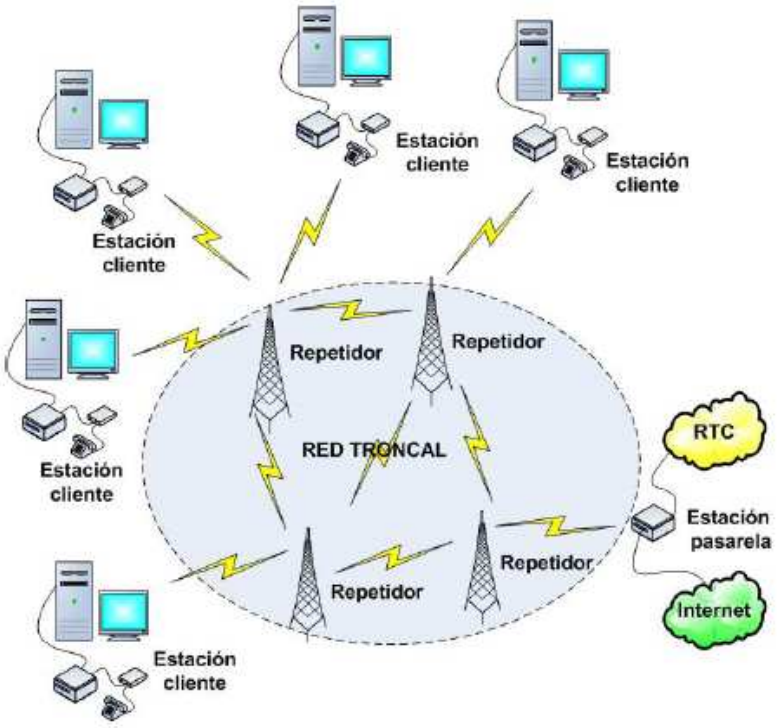


Figura 3.2: Arquitectura de red Mesh con tecnología Wi-Fi

Tradicionalmente la topología de red IEEE802.11 más usada ha sido en modo infraestructura. En ella todas las estaciones que forman parte de la red se comunican entre sí a través de un punto de acceso. De esta forma, las estaciones que se encuentran a demasiada distancia una de la otra pueden comunicarse a través de él. El punto de acceso puede además proporcionar acceso a redes exteriores. Sin embargo, la topología más básica de una red Wi-Fi es aquella en la que un conjunto de estaciones (mínimo dos), se conectan entre sí de forma directa. Dicha topología suele recibir el nombre de red Ad-Hoc. En este tipo de redes las estaciones se comunican de forma directa a través del medio inalámbrico sin que medie ninguna otra. Debido a las limitaciones inherentes en el alcance de las transmisiónes puede que no todas las estaciones sean capaces de establecer comunicación entre sí, puesto que deberán estar dentro del rango de cobertura.

A partir del concepto de red Ad-Hoc en Wi-Fi se contempla el establecimiento de redes Mesh. En una red con topología Mesh una estación que desee transmitir a otra estación fuera de su alcance, comprobará en su tabla de encaminamiento a qué estación dentro de su alcance debe transmitir la información. Dicha estación recibirá el paquete y lo reenviará siguiendo el mismo procedimiento y así sucesivamente hasta alcanzar la estación destino. Esto implica que todos los nodos de la red van a gestionar los paquetes a nivel IP. Esto introduce algo más de retardo, pero es, así como el ancho de banda, se puede gestionar de forma muy avanzada.

Las redes Mesh además de incrementar sustancialmente el área de cobertura que puede alcanzar una red (de límite indefinido si la distribución y densidad de la estación es adecuada) tienen la ventaja de ser tolerantes a fallos.

Al añadir un nuevo nodo se debe configurar correctamente sus interfaces inalámbricas, además, si uno o varios nodos tienen conexión a Internet, deben poder operar como pasarelas al exterior para los otros nodos, esto permite establecer una diferenciación funcional de tres tipos de nodos:

Estación pasarela: es una estación dotada de conectividad final a Internet, permitiendo al resto de estaciones de la red inalámbrica acceder a través de ella a los servicios de Internet.

Puede haber una o varias de estas estaciones pasarela en una red inalámbrica, pero lo más frecuente es encontrarnos con una. EL uso de más de una implica el uso de encaminamiento dinámico. Estás estaciones frecuentemente tendrán que desempeñar funciones como NAT (traducción de direcciones de red) o cortafuegos[45].

Repetidor: los distintos repetidores se unen formando la red troncal que se encarga de conmutar las comunicaciones con otras estaciones.

[45] O Firewall es una aplicación o herramienta que funciona como sistema de defensa, que evita cualquier tipo de acceso a un determinado sistema. Estos programas suelen usarse para la protección de una computadora que está conectada a una red, especialmente internet. Controlan todo el tráfico de entrada y de salida, informando o evitando actividades sospechosas.

Estación cliente: Se encuentra en los puntos de servicio a usuarios. Suele tener conectado una computadora y un teléfono IP. Las estaciones cliente son aquellas que se benefician y hacen uso de todos los servicios que la red pone a su servicio. Estos servicios se basan principalmente en: correo electrónico, acceso a Internet, voz sobre IP y la transferencia de archivos entre todas las computadoras de la red.

3.6 ENLACES PARA WI-FI

Debido a que el diseño de red se basa en tecnología WI-FI el estudio que se hace en esta sección está enfocado concretamente a esta tecnología, pues existen estudios más rigurosos para el estudio de radio enlaces sin especificar el tipo de tecnología que se está empleando.

Un sistema básico de comunicación consiste de dos radios, cada uno con su antena asociada, separados por la trayectoria que se va a cubrir. Para tener una comunicación entre ambos, los radios requieren que la señal proveniente de la antena tenga un valor por encima de cierto mínimo. El proceso de determinar si el enlace es viable se denomina cálculo del *presupuesto de potencia*. Que las señales puedan o no ser enviadas entre los radios dependerá de la calidad del equipamiento que se esté utilizando y de la disminución de la señal debido a la distancia, denominada pérdida en la trayectoria.

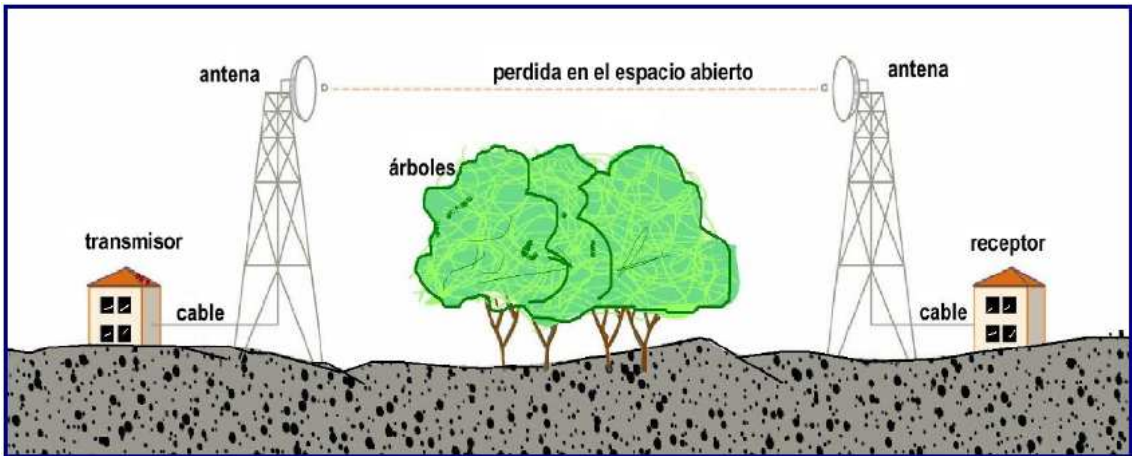


Figura 3.3: Trayectoria completa de transmisión entre el Transmisor y el Receptor.

El problema de IEEE 802.11 en enlaces muy largos se reduce a lograr un balance de enlace en que la potencia recibida sea suficientemente superior a la

sensibilidad del receptor, teniendo en cuenta la potencia transmitida, las ganancias y las pérdidas del enlace. Se tiene la siguiente ecuación.

$$P_{Rx(dB)}=P_{Tx} + G_{Tx} - L_{ccTx} - L_{ccRx} - L_p + G_{Rx} \qquad [Ec.\ 3.1]$$

Donde:

P_{Rx}= Potencia recibida por el receptor
P_{Tx}= Potencia de transmisión
G_{Tx}= Ganancia de la antena de transmisión
Lcc_{Tx}= Pérdidas de cables y conectores en el sistema de transmisión
Lcc_{Rx}= Pérdidas de cables y conectores en el sistema de recepción
Lp= Pérdidas en espacio libre
G_{Rx}= Ganancia de la antena de recepción

3.6.1 EL CALCULO DE LOS ENLACES

3.6.1.1 Pérdidas en el espacio libre

La mayor parte de la potencia de la señal de radio se perderá en el aire. Aún en el vacío, una onda de radio pierde energía, porque su energía se irradia en direcciones diferentes a la que puede capturar la antena receptora. Nótese que esto no tiene nada que ver con el aire, la niebla, la lluvia o cualquier otra cosa que puede adicionar pérdidas. La Pérdida en el Espacio libre Lp, mide la potencia que se pierde en el mismo, sin ninguna clase de obstáculo. La señal de radio se debilita en al aire debido a la expansión dentro de una superficie esférica. La Pérdida en el Espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia.

Utilizando los decibeles para expresar la pérdida y utilizando 2.4 GHz como la frecuencia de la señal, entonces la ecuación para la pérdida en el espacio libre es:

$$L_p(dB) = 100 + 20 \log d \qquad [Ec.\ 3.2]$$

Está expresión teórica se puede usar siempre que se tenga asegurada la línea de vista “despejada “(primera zona de fresnel libre en un 60% en todo el trayecto) y

que no se tenga que tener en cuenta los efectos tales como el multitrayecto. La experiencia demuestra que los efectos del entorno geográfico y las condiciones climáticas pueden causar un resultado sensible peor que el teórico, teniéndose en enlaces muy largos pérdidas de propagación muy superiores a las calculadas. Se puede tener una mejor aproximación a la realidad empleando el modelo Longley Rice combinado con mapas digitales de elevaciones y con un cuidadoso ajuste de sus parámetros.

Hay que señalar también que los canales disponibles en la banda 2.4 GHz y 5.8 GHz varían entre países; los canales comunes a todo el mundo son 11 canales, en saltos de 5MHz, para la banda 2.4 GHz, si bien cada canal tiene en realidad un ancho de banda de 22 MHz Se recomienda usar canales separados 25 MHz cuando se necesita que sean mutuamente no interferentes por trabajarse dentro de un mismo dominio de colisión, lo cual nos deja un total de tres canales usables en esas condiciones (Canales 1, 6 y 11). Mientras que en la banda 5.8 GHz existe un total de 8 canales no interferentes.

También para la pérdida en el camino está dada por la atenuación. Esto ocurre cuando parte de la potencia de la señal es absorbida al pasar a través de objetos sólidos como árboles, paredes, ventanas y pisos de edificios. La atenuación puede variar mucho dependiendo de la estructura del objeto que la señal está atravesando, y por lo tanto es muy difícil de cuantificar. La forma más conveniente de expresar está contribución a la pérdida total es agregando una “pérdida permitida” a la del espacio libre. Por ejemplo, un análisis estadístico demuestra que los árboles suman de 10 a 20dB de pérdida por cada uno que esté en el camino directo, mientras que las paredes contribuyen de 10 a 15dB dependiendo del tipo de construcción. A lo largo del trayecto del enlace, la potencia de RF (radio frecuencia) deja la antena transmisora y se dispersa. Una parte de la potencia de RF alcanza a la antena receptora directamente, mientras que otra rebota en la tierra. Parte de esa potencia de RF que rebota alcanza la antena receptora. Puesto la señal reflejada tiene un trayecto más largo, llega a la antena receptora más tarde que la señal directa. Este efecto es denominado multitrayecto, desvanecimiento o dispersión de la señal. En algunos casos las señales reflejadas se añaden y no causan problemas. Cuando se suman fuera de

la fase, la señal recibida es prácticamente nula. En algunos casos, la señal en la antena receptora puede ser anulada por las señales reflejadas. Este fenómeno es conocido como *anulación*. Existe una técnica simple utilizada para tratar con el multitrayecto, llamada diversidad de antena. Consiste en agregar una segunda antena al radio. De hecho, el Multitrayecto es un fenómeno muy localizado. Si dos señales se suman fuera de fase en una locación, no lo harán en otra locación en las cercanías. Si tenemos dos antenas, al menos una de ellas será capaz de recibir una señal utilizable, aún si la otra está recibiendo una señal distorsionada. En aplicaciones comerciales se utiliza diversidad de antenas conmutadas: tienen múltiples antenas en múltiples entradas con un único receptor. Por lo tanto, la señal es recibida por una única antena a un mismo tiempo. Cuando se transmite, el radio utiliza la última antena usada para la recepción. La distorsión generada por el multitrayecto degrada la habilidad del receptor de recuperar la señal de manera similar a la pérdida de señal. Una forma simple de tomar en cuenta los efectos de la dispersión en el cálculo de la pérdida en el trayecto es cambiar el exponente del factor de la distancia en la fórmula de pérdida en el espacio libre. El exponente tiende a incrementarse con la distancia en un medio ambiente con mucha dispersión. En el exterior con árboles se puede utilizar un exponente de 3, mientras que en el caso de un medio ambiente interno puede usarse uno de 4. Cuando se combinan pérdidas en el espacio libre, atenuación y dispersión, la pérdida en el camino es:

$$L_p(dB) = 40 + 10 * n * \log d + L_{Permitida} \qquad [Ec.\ 3.3]$$

Donde

n = Exponente de factor de distancia.

Para realizar una estimación aproximada de la viabilidad del enlace, se puede evaluar solamente la pérdida en el espacio libre. El medio ambiente puede generar pérdida adicional de señal, y debe ser considerado para una evaluación exacta del enlace. De hecho el medio ambiente es un factor muy importante, y nunca debe ser descuidado. Para evaluar si un enlace es viable, debemos conocer las características del equipamiento que estamos utilizando y evaluar la pérdida en el trayecto.

Cuando hacemos el cálculo de la potencia recibida por el receptor debemos tomar en cuenta los siguientes criterios: La potencia TX debe ser sumada sólo en uno de los lados del enlace. Si está utilizando diferentes radios en cada lado del enlace, debe calcular la pérdida para cada dirección (utilizando la potencia TX adecuada para cada cálculo). Para determinar si el enlace es viable P_{RX} debe ser mayor a la sensibilidad del receptor.

Hay que recordar que el RSL (sensibilidad del receptor) se expresa siempre como dBm negativos, por lo tanto -56dBm es mayor que -70dBm. En un trayecto dado, la variación en un período de tiempo de la pérdida en el trayecto puede ser grande, por lo que se debe considerar un margen (diferencia entre el nivel de señal recibida y el nivel mínimo de señal recibida). Este margen es la cantidad de señal por encima de la sensibilidad del radio que debe ser recibida para asegurar un enlace estable y de buena calidad durante malas situaciones climáticas y otras anomalías atmosféricas.

Un margen de 10-15dB está bien. Para brindar algo de espacio para la atenuación y el multitrayecto en la señal de radio recibida, se debe tener un margen de 20dB. Una vez que se ha calculado el presupuesto del enlace en una dirección, debe hacer lo mismo en el otro sentido.

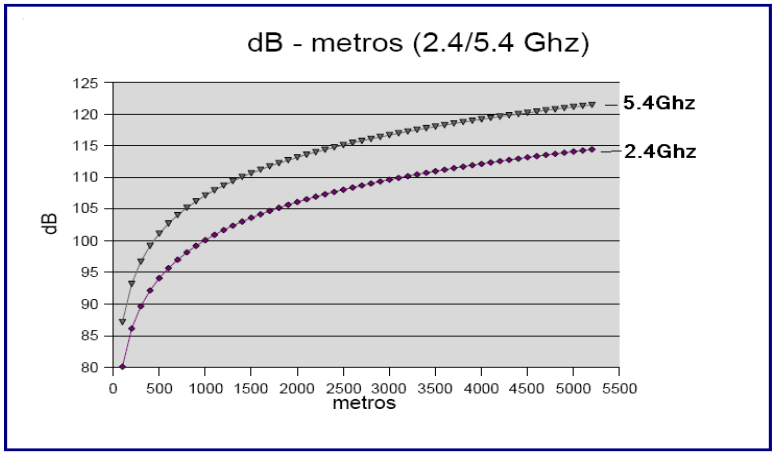


Figura 3.4: Pérdida en dB en función de la distancia en metros[46]

[46] www.wilac.net/tricalcar

La figura 3.4: muestra la pérdida en dB para 2.4 GHz y 5.4 GHz, Se puede ver que después de 1,5Km, la pérdida se puede ver como “lineal” en dB.

Como regla general una red inalámbrica a 2.4 GHz, pierde 100 dB en el 1er kilómetro y la señal es reducida a 6 dB cada vez que la distancia se duplica. Esto implica que un enlace de 2 km. tiene una pérdida de 106 dB y a 4km tiene una pérdida de 112 dB, etc.

DISTANCIA [Km]	915 MHz	2,4 GHz	5,8 GHz
1	92 dB	100 dB	108 dB
10	112 dB	120 dB	128 dB
100	132 dB	140 dB	148 dB

Tabla 3.1: Pérdidas en Espacio Abierto en dB para diferentes distancias y frecuencias

Estos valores son teóricos y pueden muy bien diferir de las mediciones tomadas, El término “espacio libre” no es siempre tan “libre”, y las pérdidas pueden ser muchas veces más grandes debido a las influencias del terreno y las condiciones climáticas. En particular, las reflexiones en cuerpos de agua o en objetos conductores pueden introducir pérdidas significativas.

3.6.1.2 Potencia de Transmisión

Se expresa en mili vatios o en dBm. La Potencia de Transmisión tiene un rango de 30mW a 200mW o más.

La potencia TX a menudo depende de la tasa de transmisión. La potencia de transmisión de un dispositivo dado debe ser especificada en los manuales provistos por el fabricante, pero algunas veces puede ser difícil de encontrar. Algunas veces los datos en línea pueden ayudarlo, una de ellas es la provista por Seattle Wireless[47].

[47] http://www.seattlewireless.net/HardwareComparison.

3.6.1.3 Ganancia de las Antenas

Las antenas son dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física. Las antenas tienen las mismas características cuando reciben que cuando transmiten. Por lo tanto, una antena de 12 dBi simplemente es una antena de 12 dBi, sin especificar si esto es en el modo de transmisión o de recepción. Las antenas parabólicas tienen una ganancia de 19-24 dBi, las antenas omnidireccionales de 5-12 dBi, y las antenas sectoriales, de 12-15 dBi.

3.6.1.4 El Mínimo Nivel de Señal Recibida

Conocido como sensibilidad del receptor (RSL) y se expresa siempre como dBm negativos (- dBm) y es el nivel más bajo de señal que la red inalámbrica puede distinguir. El RSL mínimo depende de la tasa de transmisión, y como regla general la tasa más baja (1 Mbps) tiene la mayor sensibilidad. El mínimo va a ser generalmente en el rango de -75 a -95 dBm. Al igual que la potencia TX, las especificaciones RSL deben ser provistas por el fabricante del equipo.

3.6.1.5 Pérdidas en los Cables

Las pérdidas en la señal de radio se pueden producir en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación y normalmente se miden en dB/m o dB/pies. Independientemente de lo bueno que sea el cable, siempre tendrá pérdidas. Por eso, hay que recordar que el cable de la antena debe ser lo más corto posible. La pérdida típica en los cables está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. En general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará. Para darle una idea de cuán grande puede ser la pérdida en un cable, considere que está usando un cable RG58 que tiene una pérdida de aproximadamente 1 dB/m, para conectar un transmisor con una antena. Usando 3 m de cable RG58 es suficiente para perder el 50% de la potencia (3 dB).

Tipo de cable	Atenuación dB/metro	
	2.4GHz	5.8GHz
RG174	1.20	1.85
RG316	1.10	1.70
RG58	0.83	1.40
RG58U	0.57	0.89
LMR195	0.56	0.88
RF213U	0.39	0.51
C2FP	0.23	0.36
LMR400	0.23	0.35
LDF4/50A	0.13	0.21

Tabla 3.2: Valores típicos de pérdida en los cables para 2,4 GHz y 5.8 GHz[48]

3.6.1.6 Pérdidas en los conectores

Hay que estimar por lo menos 0.25 dB de pérdida para cada conector en su cableado. Estos valores son para conectores bien hechos mientras que los conectores mal soldados pueden implicar pérdidas mayores. Vea la hoja de datos para las pérdidas en su rango de frecuencia y el tipo de conector que usará.

Si se usan cables largos, la suma de las pérdidas en los conectores está incluida en una parte de la ecuación de “Pérdidas en los cables”. Pero para estar seguro, hay que considerar un promedio de pérdidas de 0.3 a 0.5 dB por conector como regla general.

Además, protectores contra descargas eléctricas que se usan entre las antenas y el radio debe ser presupuestado hasta con 1 dB de pérdida, dependiendo del tipo. Revise los valores suministrados por el fabricante (los de buena calidad sólo introducen 0.2 dB).

[48] http://www.wifisafe.com/cables.php

3.6.2 ZONAS DE FRESNEL

Recordando el principio de Huygens[49], es fácil ver que los puntos que no están en el eje directo entre **A** y **B** también radian alguna potencia hacia el punto **B.** Un análisis detallado toma en cuenta la interferencia entre todas las ondas.

Aunque este análisis va más allá del alcance de este capítulo, nos presenta el concepto de la primera zona de Fresnel, que debe mantenerse libre de obstáculos para poder transmitir la máxima potencia desde A hacia B. Si existen obstáculos dentro de la zona de Fresnel, éstos introducirán pérdidas de obstrucción.

Recuérdese que la primera zona de Fresnel es un volumen alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor, por lo que hay que tener en cuenta los obstáculos por debajo pero también a los lados.

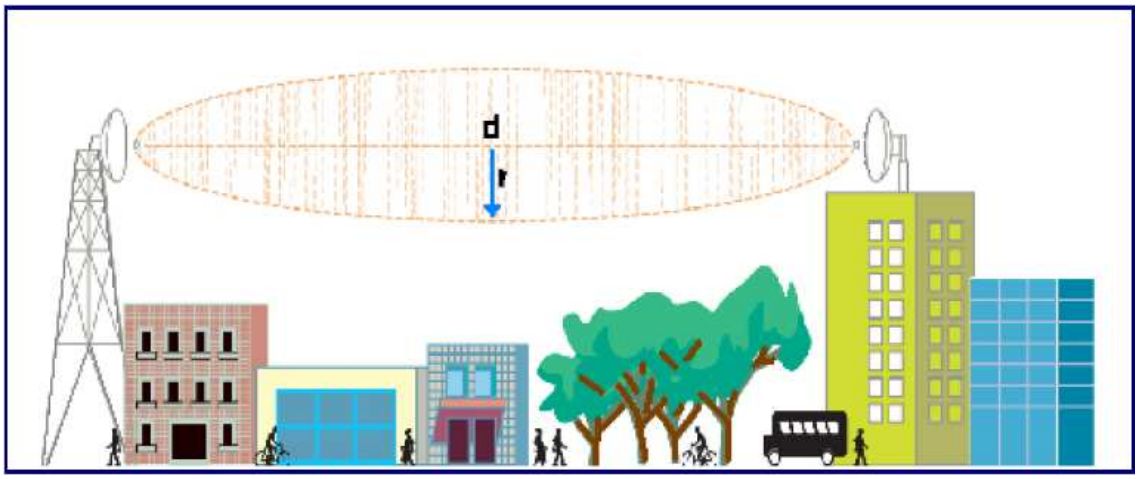


Figura 3.5: Zona de Fresnel

Lo ideal es que la primera zona de Fresnel no esté obstruida, pero normalmente es suficiente despejar el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio. En aplicaciones críticas, habrá que hacer el cálculo también para condiciones anómalas de propagación, en la cuales las ondas de radio se curvan hacia arriba y por lo tanto se requiere altura adicional en las torres. Para grandes distancias hay que tomar en cuenta también la curvatura terrestre que introduce una altura adicional que deberán sumarse a las antenas.

[49] El principio de Huygens es un método de análisis aplicado a los problemas de propagación de ondas. Afirma que todo punto de un frente de onda inicial puede considerarse como una fuente de ondas esféricas secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden.

La siguiente fórmula calcula la primera zona de Fresnel:

$$r = 17.32 * \sqrt{\frac{d1 * d2}{d * f}} \qquad [Ec.\ 3.4]$$

Donde

d1 = distancia al obstáculo desde el transmisor [km]

d2 = distancia al obstáculo desde el receptor [km]

d = distancia entre transmisor y receptor [km]

f = frecuencia [GHz]

r = radio [m]

Tomando el 60% nos queda:

$$r = 10.392 * \sqrt{\frac{d1 * d2}{d * f}} \qquad [Ec.\ 3.5]$$

Para un enlace de radio de 9.6 km a una frecuencia de operación de 2.4 GHz requerirá una zona libre de obstáculos en un radio de **r = 17,32** metros bajo la línea de vista pero basta tener el 60% de la primera zona de Fresnel, por lo que en el caso anterior es suficiente despejar una zona de 10.4 m en el punto medio de la trayectoria, y menos aún en los extremos. En realidad es necesario comprobar el despeje del 60% de la primera zona de Fresnel a lo largo de toda la trayectoria de propagación, pero la mejor manera de hacerlo es utilizando programas que tomen en cuenta la elevación del terreno, como el Radio Mobile.

3.6.2.1 Línea de vista

Para la luz visible, la línea de vista es un concepto fácil de entender y comprobar. Sin embargo, las cosas son un poco más complejas para los enlaces de radio debido a que no son visibles a nuestros ojos. En general, se necesita tener una línea visual (óptica) para un radio enlace. Adicionalmente, es necesario un “poco de espacio alrededor”, definido por las Zonas de Fresnel. Ver figura 3.6.

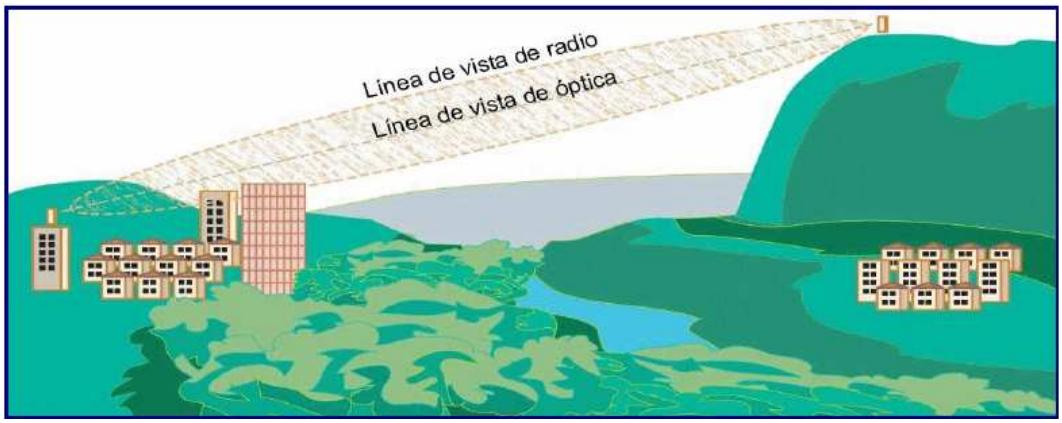


Figura 3.6: Línea de vista (radio) vs. Línea visual (óptica)

3.6.2.2 Multitrayectoria

Una onda de radio puede llegar al receptor a través de múltiples trayectorias por reflexión. Los retrasos, la interferencia y la modificación parcial de las señales pueden causar problemas en la recepción.

Sin embargo, los efectos de trayectoria múltiple no son todos malos y a veces es posible aprovecharlos para superar los límites de la línea de vista cuando se dispone de suficiente potencia. Un enlace sin línea de vista puede ser posible con tecnologías inalámbricas suficientemente robustas frente a los efectos de trayectoria múltiple, que permitan contribuir a la transmisión de señales.

3.7 SOFTWARE DE CÁLCULO DE ENLACES

Si bien calcular un enlace a mano es sencillo, existen algunas herramientas que ayudan a la automatización del proceso. Además de calcular la pérdida en el espacio libre, esas herramientas también van a tomar en cuenta otros factores relevantes (tales como absorción de los árboles, efectos del terreno, clima, y además estiman la pérdida en el trayecto en áreas rurales). En esta sección, se describe una herramienta gratuita que es útil para el cálculo de enlaces inalámbricos Radio Mobile.

3.7.1 RADIO MOBILE

Radio Mobile es un software de libre distribución para el diseño y simulación de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular. Predice las prestaciones de

radio enlaces utilizando información acerca de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) y un mapa digital del área. Es un software que puede ser ejecutado bajo los sistemas operativos Windows y Linux.

Radio Mobile usa el modelo digital de elevación del terreno para el cálculo de la cobertura, indica la intensidad de la señal recibida en varios puntos a lo largo del trayecto. Construye automáticamente un perfil entre dos puntos en el mapa digital mostrando el área de cobertura y la primera zona de Fresnel. Durante la simulación chequea la línea visual y calcula la pérdida en el trayecto, incluyendo pérdidas debido a los obstáculos. Es posible crear redes de diferentes topologías, como: punto-punto y punto-multipunto.

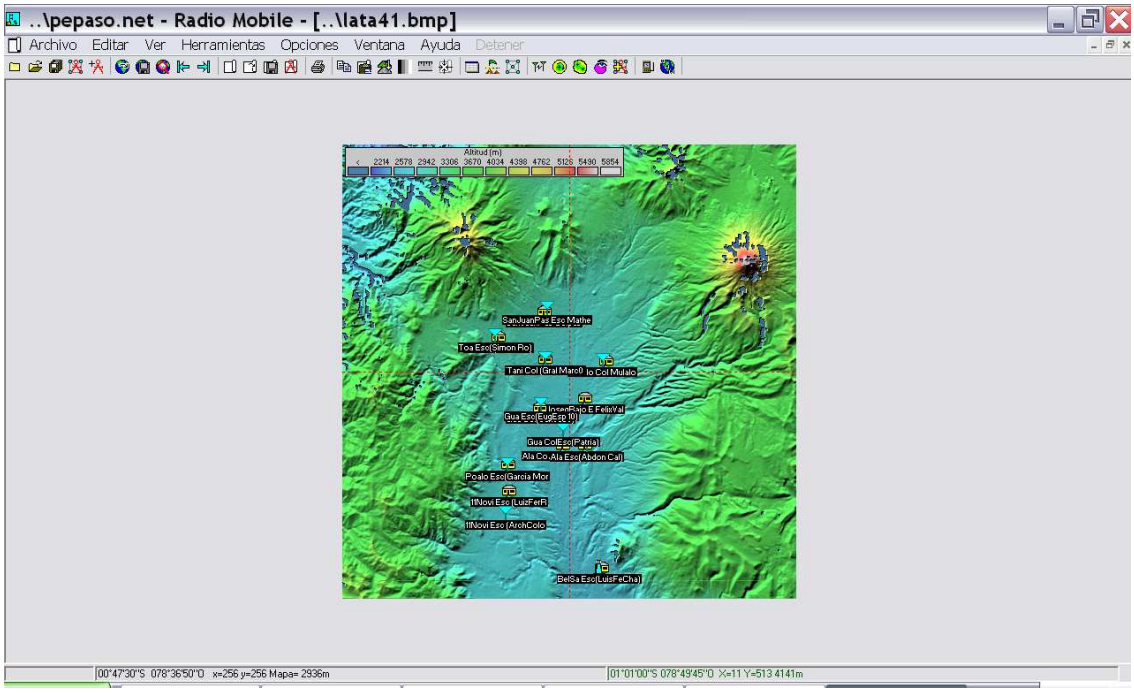


Figura 3.7: Ventana principal del programa Radio Mobile

Este software implementa con buenas prestaciones el **modelo Longley-Rice,** modelo de predicción troposférica para la transmisión vía radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Además de tener múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces. Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación.

Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED.

Al igual que el modelo de propagación en el que se basa, permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz hasta 40GHz y longitudes de trayecto entre 1Km hasta 2000Km.

En la página web de Radio Mobile, http: //www.cplus.org/rmw/, existe un enlace directo a la página de descarga, donde se puede bajar un paquete de archivos para instalar el software y sus facilidades. Está página además incluye un guión de instalación rápida. La instalación es sencilla y el guión es bastante claro. La página contiene, además, una sección de *Preguntas Frecuentes* con respuestas para las dudas más habituales y explicaciones de uso.

3.7.1.1 Instalando Radio Mobile

Radio Mobile está desarrollado en Visual Basic y requiere que se instale el Visual Basic Runtime (Service Pack 6).Una vez que tenga el Visual Basic Runtime instalado, descargue los siguientes archivos:

• Ejecutables de Radio Mobile (**rmw794.zip**)

• Complementos de Radio Mobile (**sup.zip**)

• Ejemplos de redes de Radio Mobile (**net.zip)**

Son necesarias tres librerías adicionales (**DLLs**) para funcionalidad extra:

• Para salvar las imágenes en formatos jpeg, tiff y png: (**freeimage.zip**)

• Para la descarga automática de archivos SRTM comprimidos en ZIP (**unzip32.zip**)

• Para trabajar con Azimut relativo al Norte Magnético (**geoStarsLib.zip**)

Como el software no incluye un instalador, lo más fácil es crear una nueva carpeta con la siguiente raíz C:\Archivos de programa\RM794 y descomprimir todos los archivos allí.

3.7.1.2 Guía de utilización del software radio Mobile

3.7.1.2.1 Comentarios previos y definiciones importantes

En Radio Mobile existen varios tipos de ficheros que se guardan en una misma red diferente tipos de información. Los que interesan para entender cómo se cargan los mapas de forma correcta son:

Ficheros .map: ficheros que contienen la elevación de los mapas. Es la base con la que se cargan los perfiles del terreno.

Ficheros .bmp: ficheros que contienen imágenes (imágenes de los mapas asociados a las elevaciones). Son representaciones gráficas, sin información del perfil del que son imagen.

Ficheros .net: ficheros que guardan la información de la red diseñada (unidades, redes, equipos, enlaces establecidos, etc.). Es el "corazón" de la red diseñada.

Estos tres tipos de ficheros están relacionados pero pueden guardarse de forma independiente.

Hay que tener cuidado con la relación entre el mapa cargado (la imagen) y el mapa real de altitudes. Cuando la imagen es mayor que el mapa cargado, o no corresponde con la misma región, no se realizarán cálculos de radio enlaces. Si se pincha en el mapa, en la zona inferior de la imagen, donde aparecen las coordenadas y altitud, aparecerá el mensaje de error. Si esto sucede deberá procederse a cargar un mapa de altitudes con las mismas dimensiones del área que se está visualizando y con la que se quiera trabajar.

Cuando se finaliza la sesión, el programa ofrece guardar estos dos tipos de ficheros (**.map** y **.bmp**) asociados al mismo **.net**. Esto hace que la siguiente vez que se abra ese fichero para una red determinada **.net**, se cargue el mismo espacio de trabajo que se utilizó en la sesión anterior. Si no se guardan de está forma, y se han guardado por separado podrán cargarse sin problemas. Pero está es la forma más rápida de mantener el trabajo actualizado. El resto de extensiones (**.geo**, .**dat,** etc.) son las que contienen las referencias para que esto sea posible.

3.7.1.2.2 Notación de Radio Mobile

Unidad: denominada así a los emplazamientos pertenecientes a la red. Es decir, las unidades Unit 1...Unit n que contienen las coordenadas y elevación de los emplazamientos, entre los que se establecen los enlaces. Para que resulte sencillo trabajar con ellas, se pueden incluir iconos, el nombre del lugar real, etc.

Red: se refiere a la información de la red. Los enlaces establecidos, los equipos de receptores y transmisores, etc.

Sistemas: sistemas. Se pueden definir sistemas que guardarán la información de los equipos que se quiere simular en un emplazamiento. Por ejemplo, un Sistema 1 genérico tiene una antena situada a 12m, una tarjeta de potencia 200mW con sensibilidad –93dBm, pérdidas de los conectores para sus equipos de 3dB, etc. Este sistema a la hora de diseñar la red, se puede asociar a una Unit para que en ese emplazamiento se simule que estarían funcionando equipos con estás características.

3.7.1.3 Modelo Longley – Rice

El modelo Longley-Rice predice la propagación a larga-media distancia sobre terreno irregular. Fue diseñado para frecuencias entre los 20MHz hasta 40GHz, y para longitudes del trayecto entre 1 Km y 2000Km.

3.7.1.3.1 Parámetros generales

Para el cálculo de la propagación, el modelo Longley-Rice tiene los siguientes parámetros comunes al de otros modelos de propagación:

Frecuencia: el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz y 40GHz.

ERP (Effective Radiated Power): potencia efectiva de radiación, se introducen en las unidades que fije el usuario en la opción de configuración del sistema (mW, W, Kw, dBm, dBW, dBk).

Antena: se asume antena omnidireccional, a menos que se especifique el uso de una antena directiva.

Altura de la antena: altura a la que se sitúa la antena, medido en pies o metros, (sobre el nivel del mar), para transmitir y recibir. El programa computará las alturas efectivas necesarias para ajustarse a los cálculos del modelo.

3.7.1.3.2 Parámetros específicos para el modelo de Longley-Rice

La naturaleza del modelo requiere algunos parámetros adicionales.

Polarización: debe especificarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical. El modelo de Longley-Rice asume que ambas antenas tienen la misma polarización horizontal y vertical.

Refractividad: La refractividad de la atmósfera determina la cantidad de "bending" o curvatura que sufrirán las ondas radio. En otros modelos, el parámetro de refractividad puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente 4/3 (1.333). Para el modelo Longley-Rice, hay tres formas de especificar la refractividad. Se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 Unidades de n (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1.232 a 1.767). Una curvatura efectiva de la tierra de 4/3 (=1.333) corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 Unidades de n. Longley-Rice recomiendan este último valor para condiciones atmosféricas promedio. La relación entre los parámetros "k" y "n", viene dada por la siguiente expresión:

$$N_s = 179.3 * \ln\left[\frac{1}{0.046665}\left(1 - \frac{1}{K}\right)\right] \qquad \text{[Ec. 3.6]}$$

Permitividad: La permitividad relativa o constante dieléctrica del medio (e), tiene unos valores típicos tabulados.

Conductividad: la conductividad, medida en Siemens por metro, tiene unos valores típicos tabulados.

	PERMITIVIDAD	CONDUCTIVIDAD
Tierra media	15	0,005
Tierra pobre	4	0,001
Tierra rica	25	0,02
Agua fresca	81	0,01
Agua mar	81	5

Tabla 3.3: Valores de permitividad y conductividad

Clima: Hay 7 modelos de clima caracterizados en el modelo. De acuerdo con el modelo, el clima continental templado es común a la mayor parte de grandes superficies, en la zona templada. En latitudes medias en zonas costeras, donde los vientos predominantes llevan el aire húmedo marítimo hacia el interior, prevalece un clima marítimo templado. Está situación es típica del Reino Unido y de las costas occidentales de los Estados Unidos y Europa. El resto de los climas pueden asociarse de la misma forma a otras regiones del mundo.

Variabilidad: el modelo de Longley-Rice define cuatro modos de variabilidad. El modo seleccionado determina el significado de la fiabilidad de los valores usados en el modelo. El modo de variabilidad puede ser considerado como la especificación para determinar la fiabilidad de los cálculos. El modo individual ("**Accidental**"), para calcular el campo en posiciones individuales se trazaban múltiples puntos a lo largo de varias radiales desde la ubicación del transmisor. Como estamos definiendo exactamente la localización del receptor para cada cálculo, el programa no tiene en cuenta la variabilidad por "localizaciones" o posición.

Los tipos de variabilidad descritos en el modelo Longley-Rice son el tiempo, la posición, y la variabilidad de situación. Estás tres dimensiones de variabilidad, fueron desarrolladas para considerar y clasificar variaciones en los niveles de señal medidos. La variabilidad de corto plazo del tipo asociado con la propagación de multitrayecto no es cubierta por el modelo.

- **Variabilidad de tiempo:** los parámetros a tener en cuenta para considerar las variaciones de los valores medianos tomados por horas de atenuación, son por ejemplo, cambios de la refracción atmosférica o de la intensidad de turbulencia atmosférica. El campo actual en la posición del receptor se

espera que esté por encima de ese valor, durante media de cada hora, y por debajo de ese valor la otra media. La variabilidad de tiempo describe los efectos de estos cambios de tiempo, expresado como un porcentaje entre 0.1 % y el 99.9 %. Este valor da la fracción de tiempo durante la cual el campo de fuerza recibido, se espera que sea igual o superior que el valor mediano de campo por hora calculado por el programa. Está variabilidad permite especificar cómo se desea tratar con la variabilidad de tiempo de los cambios atmosféricos y otros efectos. Tomar un porcentaje mayor en este valor, reduce la variabilidad resultante de estos factores. El resultado calculado por el programa será menor, con lo que se asegura que el valor real medido será igual o superior en un porcentaje más elevado de tiempo.

- **Variabilidad por localización:** Lo que hay que tener en cuenta en los estadísticos de largo plazo entre dos trayectos distintos debido, a por ejemplo, diferencias en los perfiles del terreno o diferencias ambientales entre ellos. La variabilidad por localización para los cálculos, se expresa como un porcentaje de 0.1% a 99.9%. Sucede lo mismo en los resultados que para el caso de la variabilidad de tiempo, pero con la fracción de localizaciones donde el campo recibido se espera que sea igual o superior.

- **Variabilidad por situación:** está variabilidad tiene en cuenta otro tipo de variables que pueden denominarse “variables ocultas”. Este tipo de variables representan efectos que no pueden explicarse o que simplemente se ha decidido no controlar. Sirven para diferenciar casos con iguales equipos y condiciones de entorno similares. Estos cambios se reflejarán en los estadísticos. Y como en casos anteriores puede ser expresado como un porcentaje entre 0.1 % y el 99.9 % para controlar lo mucho o poco que se quiere que afecten.

3.8 ESTUDIO DE CAMPO

El estudio de campo nos permite observar las condiciones reales en las cuales va ha ser implementada y operada la red WMNs como son: Condiciones climáticas, topografía del terreno, accesos a puntos donde se van instalar las radio bases, las condiciones técnicas de las localidades seleccionadas para que la red proporcione servicios, determinar si existen línea de vista entre las radio bases, etc.

3.8.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL ESTUDIO DE CAMPO

Los equipos utilizados en el estudio de campo son herramientas que permiten recolectar la información real del sitio donde se tiene planificado construir la red, por lo que se debe contar con algunos equipos para tal propósito, aquí describimos los equipos utilizados.

- **Mapas Políticos del Cantón Latacunga.** Estos mapas fueron obtenidos por el Instituto de Estadística y Censos (INEC), estos nos permiten tener una referencia geográfica de las diferentes localidades a las cuales hay que visitar para realizar el respectivo estudio de campo.
- **GPS (Global Position System)[50].** Está herramienta permite ubicar el punto exacto donde se ubicarán los puntos de acceso y radio bases a través de las coordenadas de latitud y longitud; el equipo que utilizamos es un GPS de marca Maguillan, que además proporciona la altura con respecto al mar.
- **Cámara Fotográfica.** Este equipo permite tener las imágenes de los lugares visitados con el fin de realizar un estudio detallado de los lugares visitados como son: accesibilidad, reconocimiento rápido de lugares seleccionados, etc.
- **Reloj.** Permite determinar el tiempo de acceso a las diferentes localidades.

Hoja de datos. Permite recolectar la información de forma adecuada y ordenada para su posterior análisis.

[50] Sistema de posicionamiento global

3.8.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CAMPO

En esta sección describiremos los resultados que se obtuvieron luego de la visita técnica, cabe mencionar que no solamente se hizo una sola visita a las localidades seleccionadas para el diseño de la red. La primera visita que se hizo a estos sitios fue para realizar la encuesta sobre la situación actual de las comunicaciones en estas localidades y cuyos resultados fueron analizados en el capítulo dos. Además la primera visita que se hizo a los sectores nos permitió excluir a ciertas escuelas y colegios la razón se debe al número limitado de estudiantes, así como algunos establecimientos que ya cuentan con acceso a Internet, como son el colegio y escuela Patria en Guaytacama. Ya en el diseño definitivo se escogió un colegio o una escuela por cada parroquia, ya que la tecnología Mesh permite que nuevos router entren a la red sin mayor dificultad y extender el servicio a otras zonas interesadas, como sería en el caso de las escuelas y colegios que no han sido tomados en cuenta para el diseño definitivo.

La segunda visita a las localidades se realizó con el fin de constatar la realidad física de estas poblaciones como son: infraestructura de comunicaciones en los puntos que se desea dar el servicio, estado de las carreteras, tipo de terreno y la parte más importante determinar las coordenadas de latitud y longitud con ayuda del GPS.

A continuación se presenta los resultados obtenidos para cada localidad. Excluimos los resultados del terreno debido a que se trata de un área poco extensa, y estos resultados deben ser analizados en forma global.

3.8.2.1 Parroquia Aláquez

Para la parroquia Aláquez se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: 100% de la ruta es asfalto, aproximadamente el 30% está en buenas condiciones y el resto del camino está en malas condiciones

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 17 minutos.

Transporte: El tipo de transporte utilizado son los buses que, tienen una frecuencia de 20 minutos entre unidades por lo que el acceso a esta localidad no tiene ningún problema.

Descripción Física: Al llegar a Aláquez se pudo constatar que tiene una infraestructura física en buenas condiciones ya que la mayoría de las edificaciones es de hormigón armado, la actividad comercial es nula en este poblado.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente está descrita para un colegio y una escuela:

- Colegio Gonzalo Albán Rumazo. Cuenta con un laboratorio de informática con aproximadamente 8 computadores, y no cuentan con ninguna red de datos dentro del establecimiento.

Escuela Abdón Calderón: Cuenta con un laboratorio de informática con 15 máquinas disponible y sin acceso a Internet.

3.8.2.2 Parroquia Belisario Quevedo.

Para la parroquia Belisario Quevedo se sacaron los siguientes resultados:

Transporte: El tipo de transporte utilizado son los buses que, tienen una frecuencia de 15 minutos entre unidades por lo que el acceso a está localidad no tiene ningún problema.

Estado del camino: Está en muy buenas condiciones, el material de la vía es asfalto en el 100% del trayecto.

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 25 minutos.

Descripción Física: Al llegar a Belisario Quevedo se pudo constatar que tiene una buena infraestructura física, con casas y negocios en buenas condiciones en el centro de la parroquia.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente está descrita para el colegio y escuela con mayor número de estudiantes:

- La Escuela Luís Felipe Chávez cuenta con un laboratorio de informática sin acceso al Internet y no cuentan con ninguna red de datos dentro del establecimiento.

- Colegio Eudofilo Álvarez Cuenta con un laboratorio de informática con 15 máquinas disponibles y con acceso a Internet de baja velocidad.

En general las condiciones de Belisario Quevedo son buenas tanto infraestructura urbana como de comunicaciones ya que se pudo constatar que existen dos centros de Internet cerca de los establecimientos educativos.

3.8.2.3 Parroquia Guaytacama.

Para la parroquia Guaytacama se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: Está en muy buenas condiciones, el material de la vía es asfalto en el 100% del trayecto.

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 18 minutos.

Transporte: El tipo de transporte habitualmente utilizado son los buses que, tienen una frecuencia de 20 minutos entre unidades por lo que el acceso a esta localidad no tiene ningún problema.

Descripción Física: Al llegar a Guaytacama se pudo constatar que aproximadamente el 50% de las edificaciones es de hormigón armado y el otro 50% son edificaciones de adobe y teja, existe poca actividad comercial.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente esta descrita para un colegio y escuela:

- Escuela Eugenio Espejo - Diez de Agosto: Cuenta con un laboratorio de informática con aproximadamente 12 computadores y no cuentan con ninguna red de datos dentro del establecimiento.
- Colegio San José. Cuenta con un laboratorio de informática con 10 máquinas disponible con acceso a Internet de baja velocidad.

Cabe recalcar que a pesar que la escuela y colegio Patria pertenecientes a esta parroquia, tienen una gran número de estudiantes, pero no se tomó en cuenta estos establecimientos educativos dentro del diseño definitivo de la red WMNs, ya que estos establecimientos pertenecen a las Fuerzas Armadas y por ende tienen una buena infraestructura de comunicaciones, ya que el objetivo de esta

tesis es de realizar el estudio y diseño de una red WMNs que llegue a los sectores más necesitados.

3.8.2.4 Parroquia Joseguango Bajo.

Para la parroquia Joseguango Bajo se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: El camino se divide en dos rutas, el primero que va desde la Terminal terrestre de Latacunga hasta aproximadamente la altura de Aláquez donde se cubre aproximadamente el 70% de la ruta, y el material es asfalto en buenas condiciones, el resto del camino es empedrado en buenas condiciones.

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 25 minutos.

Transporte: El tipo de transporte utilizado son los buses que, tienen una frecuencia de 20 minutos entre unidades por lo que el acceso a esta localidad no tiene ningún problema.

Descripción Física: Al llegar a Joseguango Bajo se pudo constatar que tiene una pobre infraestructura física, la mayoría de casas sigue siendo de adobe y techo de teja, no existe actividad comercial.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente está descrita para una escuela con el mayor número de estudiantes.

- Escuela Félix Valencia. No cuenta con laboratorio de informática por lo que en esta escuela no existe ningún tipo de infraestructura de comunicaciones de datos.

En general las condiciones de Joseguango Bajo son de mala calidad tanto en infraestructura urbana como de comunicaciones.

3.8.2.5 Parroquia Mulaló.

Para la parroquia Mulaló se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: El camino se divide en dos rutas, el primero que va desde la Terminal terrestre de Latacunga hasta aproximadamente la altura de Aláquez

donde se cubre aproximadamente el 50% de la ruta, y el material es asfalto en buenas condiciones el resto del camino es empedrado en malas condiciones

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 30 minutos.

Transporte: El tipo de transporte utilizado son los buses que, tienen una frecuencia de 20 minutos entre unidades por lo que el acceso a esta localidad no tiene ningún problema.

Descripción Física: Al llegar a Mulaló se pudo constatar que tiene una pobre infraestructura física, la mayoría de casa sigue siendo de adobe y techo de teja, existe poca actividad comercial, pues casi no existen establecimientos dedicados a algún tipo de negocio.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente está descrita para el colegio y escuela con mayor número de estudiantes:

- Escuela Juan Pio Montufar-Juan de Dios: No cuenta con un laboratorio de informática y no cuentan con ninguna red de datos dentro del establecimiento.
- Colegio Mulaló: Cuenta con un laboratorio de informática con 10 máquinas disponible sin acceso a Internet.

En general las condiciones de Mulaló son de mala calidad tanto en infraestructura urbana como de comunicaciones, pero se pudo constatar la existencia de un centro de Internet pero con bajo ancho de banda.

3.8.2.6 Parroquia 11 de Noviembre.

Para la parroquia 11 de Noviembre se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: El camino se divide en dos rutas, el primero que va desde la estación del tren y recorre la vía para Pujilí hasta llegar a una intersección conocida como Cristo Rey, donde el estado del camino esta en condiciones optimas, la segunda ruta que va desde esta intersección hasta la parroquia 11 de Noviembre, donde aproximadamente el 100% de este trayecto es asfalto en malas condiciones.

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 17 minutos.

Transporte: El tipo de transporte utilizado son buses que, tienen una frecuencia de 1 horas entre unidades, de esto se concluye que el acceso a esta localidad no es dificultoso en cuanto al transporte, pero el tiempo de espera es muy largo si no se cuenta con un medio transporte propio.

Descripción Física: Al llegar a 11 de Noviembre se pudo constatar que tiene una pobre infraestructura física, la mayoría de casas sigue siendo de adobe y techo de teja, no existe establecimientos dedicados a algún tipo de negocio.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente está descrita para la escuela con mayor número de estudiantes:

- Luís Fernando Ruiz. No cuenta con un laboratorio de informática.

En general la infraestructura de comunicaciones de 11 de Noviembre es de mala calidad, no se pudo constatar la existencia de algún centro de Internet.

3.8.2.7 Parroquia Poaló.

Para la parroquia Poaló se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: El camino se divide en dos rutas, el primero que va desde la estación del tren y recorre la vía hacia Pujilí hasta llegar a una intersección conocida como Cristo Rey, donde el estado del camino esta en condiciones optimas, la segunda ruta que va desde esta intersección hasta la parroquia de Poaló, aproximadamente el 70% es asfalto en malas condiciones y el resto del trayecto es empedrado, también malas condiciones

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde la Terminal del ferrocarril de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 20 minutos.

Transporte: El tipo de transporte utilizado son camionetas que, tienen una frecuencia de 2 horas entre unidades, existe otro tipo transporte este a través de los buses que viajan a Pujilí pero el usuario que quiere llegar a Paolo tendría que quedarse en la intersección mencionada anteriormente y esperar o contratar una camioneta para llegar a esta localidad, de esto se concluye que el acceso a esta localidad es dificultosa en cuanto al transporte.

Descripción Física: Al llegar a Poaló se pudo constatar que tiene una pobre infraestructura física, la mayoría de casa sigue siendo de adobe y techo de teja existe poca actividad comercial, pues casi no existen establecimientos dedicados a algún tipo de negocio.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente esta descrita para el colegio y escuela con mayor número de estudiantes:

- Escuela García Moreno. No cuenta con un laboratorio de informática.
- Colegio Poaló. Cuenta con un laboratorio de informática con 10 máquinas disponible sin acceso a Internet.

En general las condiciones de Poaló son de mala calidad tanto en infraestructura urbana como de comunicaciones, pero se pudo constatar la existencia de un centro de Internet pero con bajo ancho de banda.

3.8.2.8 Parroquia San Juan de Pastocalle.

Para la parroquia San Juan de Pastocalle se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: Esta en muy buenas condiciones, el material de la vía es asfalto en el 100% del trayecto

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 35 minutos.

Transporte: El tipo de transporte utilizado son los buses que, tienen una frecuencia de 15 minutos entre unidades por lo que el acceso a esta localidad no tiene ningún problema.

Descripción Física: Al llegar San Juan de Pastocalle se pudo constatar que tiene una buena infraestructura física, con casas y negocios en buenas condiciones en el centro de la parroquia.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente está descrita para el colegio y escuela con mayor número de estudiantes:

- Escuela Manuel Matheu: Cuenta con un laboratorio de informática y no posee red de datos dentro del establecimiento.

Colegio Pastocalle (Técnico Industrial). Cuenta con un laboratorio de informática con 12 máquinas disponibles sin acceso a Internet.

3.8.2.9 Parroquia Tanicuchí.

Para la parroquia Tanicuchí se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: Está en muy buenas condiciones, el material de la vía es asfalto en el 100% del trayecto.

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 33 minutos.

Transporte: El tipo de transporte utilizado son los buses que, tienen una frecuencia de 15 minutos entre unidades por lo que el acceso a esta localidad no tiene ningún problema.

Descripción Física: Al llegar a Tanicuchí se pudo constatar que tiene una buena infraestructura física, la mayoría de edificaciones es de hormigón armado, existe una reducida actividad comercial.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente esta descrita para el colegio y escuela con mayor número de estudiantes:

- Escuela Batalla de Panupali: Cuenta con un laboratorio de informática con alrededor de 12 computadores, tiene acceso a Internet de baja velocidad.

Colegio Gral. Marco Aurelio Subía: Cuenta con un laboratorio de informática con 10 máquinas disponible con acceso a Internet de baja velocidad.

3.8.2.10 Parroquia Toacaso

Para la parroquia de Toacaso se sacaron los siguientes resultados:

Estado del camino: El camino se divide en dos rutas, primero se toma el bus que va hasta Tanicuchí y luego una camioneta hasta la parroquia Toacaso. En este último trayecto la mayoría de la ruta es de asfalto y existe un pequeño tramo de empedrado, tanto el empedrado como el asfalto están en malas condiciones.

Tiempo de Viaje: El tiempo de viaje desde el terminal terrestre de Latacunga hasta la parroquia es de aproximadamente 40 a 70 minutos.

Transporte: Buses y camionetas.

Descripción Física: Al llegar a Toacaso se pudo constatar que tiene una pobre infraestructura física, la mayoría de casa sigue siendo de adobe y techo de teja existe poca actividad comercial, pues casi no existen establecimientos dedicados a algún tipo de negocio.

Infraestructura de comunicaciones: Solamente esta descrita para el colegio y escuela con mayor número de estudiantes:

- Escuela Simón Rodríguez. No cuenta con un laboratorio de informática.

Colegio Toacaso. Cuenta con un laboratorio de informática con 13 máquinas disponible sin acceso a Internet.

3.8.2.11 Análisis del terreno.

Es importante determinar las características del terreno donde se realizarán los enlaces, ya que proporcionará la información necesaria para ingresar los datos del tipo de terreno en el programa que utilizaremos para determinar la calidad del radio enlace y su respectiva cobertura.

Como podemos apreciar en la figura 3.8 , el área que está al interior de las líneas amarillas, es el área donde se pretende dotar de servicios de comunicaciones a través de una red WMNs. Claramente se observa que en dicha área donde se pretende dotar de servicios, en su gran mayoría es una superficie plana, y dentro de esta área no existen grandes elevaciones, además por ser una área rural no existe una gran densidad de edificaciones salvo en el centro de cada parroquia, hay que mencionar que la gran mayoría del área esta destinada al cultivo y ganadería, tampoco existe grandes extensiones de bosque.

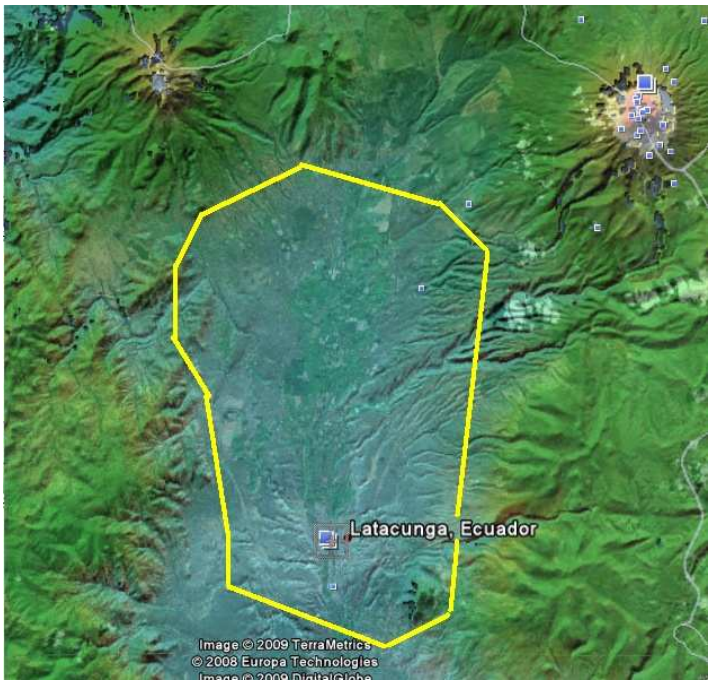


Figura 3.8[51]: Mapa topográfico de las áreas rurales del cantón Latacunga

La figura 3.9, Es una fotografía tomada desde la parroquia 11 de Noviembre que demuestra que el terreno es plano, lo cual no sucede en las parroquias: Toacaso, Aláquez y Mulaló que se encuentran en zonas un poco más elevadas.

Este tipo de terreno favorece a que no existan obstrucciones significativas para los radio enlaces.

Figura 3.9: Fotografía tomada desde la parroquia 11 De Noviembre.

[51] Imagen tomada del programa Google Earth

3.8.2.11.1 Posibles interferencias

Es importante analizar las posibles fuentes de interferencias que se tendrán en nuestro sistema, ya que estos afectarán el rendimiento del mismo. Existen 3 tipos de interferencias que son:

Interferencia directa.- Se conoce a este tipo de interferencias a las ocasionadas por los dispositivos que utilizan la misma tecnología.

Interferencia indirecta.- Aquella interferencia ocasionada, por dispositivos que utilizan distinta tecnología, pero que trabajan en la misma banda de frecuencias.

Interferencia Multitrayectoria.- Consiste en la diferencia de tiempo entre la señal que llega directamente y la señal reflejada por diferentes obstáculos (techos, paredes, etc.).

De la visita de campo se observó que no existe interferencia directa ni indirecta, ya que se pudo comprobar que no existe redes de comunicaciones que trabajen a frecuencias de 2.4GHz y 5.8 GHz.

La interferencia Multitrayectoria, se debe a los rebotes que da la señal, debido a los obstáculos que esta encuentre. Mediante la siguiente tabla, se indica la medida de interferencia que tiene la señal inalámbrica por causa de los obstáculos que encuentra al propagarse.

MATERIAL	EJEMPLO	INTERFERENCIA
Madera	Tabiques	Baja
Amianto	Techos	Baja
Yeso	Paredes Interiores	Baja
Vegetación	Árboles y plantas	Media
Agua	Lluvia y Niebla	Media
Cerámica	Tejas	Media
Vidrio	Ventanas	Alta
Metal	Vigas	Alta

Tabla 3.4: Materiales que causan interferencia

La tabla 3.4 muestra los niveles de interferencia según el tipo de material que se deben tomar en cuenta al momento del diseño para determinar en forma más real la cobertura de nuestra red, así mismo este tipo de interferencias también afectan el desempeño del sistema.

De una simple observación del terreno se puede apreciar que los factores que más afectaran al enlace son: la vegetación, Agua (niebla y lluvia). Ya que al ser una área rural donde eminentemente las actividades económicas están concentradas en los sectores de la ganadería y agricultura, existe grandes áreas con cultivos, y pequeñas áreas donde existen bosques, estos últimos son los que causarán algún tipo de interferencia en nuestros enlaces, dada por la altura de los árboles.

Como se ve en la tabla 3.4, la niebla y la lluvia podrían constituir otro factor de atenuación de propagación de la señal, por lo que se debe considerar al momento del diseño del enlace, esto debido a que en sus alrededores se encuentra el nevado Ilinisa como el volcán Cotopaxi.

Figura 3.10: Nevado Ilinisa

Figura 3.11: Volcán Cotopaxi

Como vamos a trabajar con programa (Radio Mobile), este software esta creado para ubicar todo lo concerniente al diseño de nuestra red, y así tener una idea clara de la viabilidad del enlace.

3.9 REQUERIMIENTOS DE ANCHO DE BANDA DE LA RED WMNs

3.9.1 REQUIRIMIENTOS DE TRÁFICO PARA CADA APLICACIÓN

Para realizar la estimación de tráfico que cursará para cada aplicación dentro de la red, se realizará un estudio estadístico del uso de cada aplicación, debido a que no existen datos anteriores, ya que muchos de los establecimientos no cuentan con un centro de cómputo con acceso a Internet.

3.9.1.1 Correo electrónico

La información que se intercambia por el correo electrónico, corresponde a información de investigación o trabajos de las diferentes materias que tiene cada estudiante en su centro de educación, información personal, debido a que un documento de solo texto es de tamaño pequeño, aproximadamente 19 Kbyte, en tanto que un documento gráfico posee un mayor tamaño, de acuerdo al formato de la imagen que se desee transmitir teniendo un promedio para este de 400 Kbyte, se considera que el tamaño promedio de los archivos que se envían es de 500 Kbyte. Para el acceso al correo electrónico, se ha estimado que cada usuario

revisa un promedio de dos correos en una hora. Tenemos así que el tráfico que maneja un correo electrónico para un usuario es:

$$V_{CORREO} = \frac{500Kbyte}{correo} * \frac{8bits}{1Byte} * \frac{2correos}{1hora} * \frac{1hora}{3600seg}$$

$$V_{CORREO} = 2.22Kbps$$

3.9.1.2 Acceso a Internet

Para utilizar este servicio se ha considerado que una página web tiene un peso aproximado de 25 Kbyte, incluyendo texto e imágenes medianas, además se ha estimado que un usuario accederá a 1 página Web en 30 segundos, debido a que se brindará Internet de banda ancha. Considerando esto se tiene.

$$V_{INTERNET} = \frac{25Kbyte}{página} * \frac{8bits}{1Byte} * \frac{1página}{30seg}$$

$$V_{INTERNET} = 6.66Kbps$$

3.9.1.3 Voz por Internet

Para transportar la voz por Internet (VPI), se requiere un ancho de banda de 13 Kbps[52] por cada usuario potencial del servicio.

3.9.1.4 Vídeo sobre IP

Para utilizar los servicios que proporciona el Vídeo sobre IP, como el Vídeo Broadcast se requiere un ancho de banda de 128 Kbps (VoIP).

3.9.2 ESTIMACIÓN TOTAL DE LA CAPACIDAD DEL TRÁFICO

La capacidad total se obtiene de las sumas parciales del ancho de banda para cada aplicación como son: el servicio de correo electrónico, el tráfico generado por el servicio de voz por Internet (VPI) y Vídeo sobre IP (VoIP) y la capacidad para ofrecer servicios adicionales.

[52] Este ancho de banda para la voz se hizo tomando en cuenta el códec G.729 utilizado para la transmisión de voz sobre IP que garantiza la codificación y compresión del audio para una velocidad de transmisión de 8 o 13 Kbps.

$$C_{TOTAL} = C_{CORREO} + C_{INTERNET} + C_{VPI} + C_{VoIP} + C_{ADICIONAL} \qquad [Ec.\ 3.7]$$

Donde:

C = Capacidad.

Para poder calcular la capacidad con esta ecuación es necesario hacer un análisis estadístico de cada aplicación que utilizarán los potenciales usuarios que estén conectados a la red.

3.9.2.1 Determinación de ancho de banda necesario para cada servicio

De acuerdo a los resultados obtenidos en la pregunta cinco de la encuesta, esta pregunta determina el porcentaje de utilización para cada servicio dentro de Internet, estos resultados son mostrados en la figura 3.12.

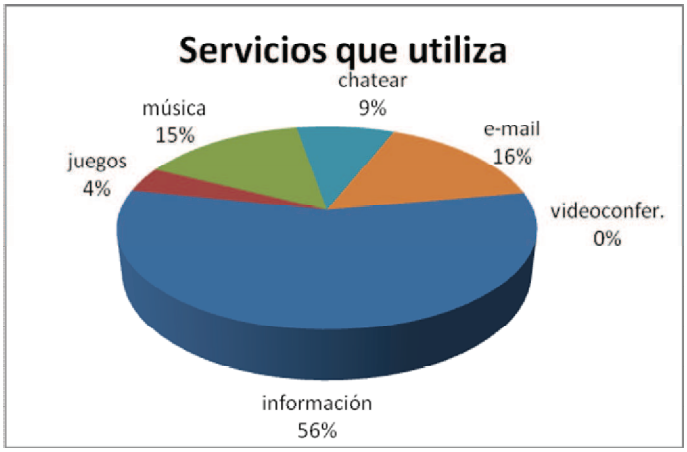


Figura 3.12: Resultados estadisticos de la encuesta de la pregunta cinco sobre la situación actual de la comunicaciones en las parroquias rurales del cantón Latacunga.

Estos resultados serán nuestra base para estimar el ancho de banda total que debe tener la red WMNs.Otro dato importante es saber el número de usuarios potenciales que estarán conectados a la red para lo cual utilizamos la suguiente tabla, la cual indica el número de aulas por establecimiento y el promedio por estudiantes por aula, estos datos fueron obtenidos por la Dirección de Educacion Provincial de Cotopaxi.

PARROQUIA	UNIDAD EDUCATIVA	NIVEL	# DE AULAS	# DE ESTUDIANTES POR AULA
Aláquez	Gonzalo Alban Rumazo	Medio	10	7
	Abdón Calderón	Primario	15	20
Belisario Quevedo	Eudofilo Álvarez	Medio	17	12
	Luís Felipe Chávez	Primario	18	16
Guaytacama	San José	Medio	19	14
	Eugenio Espejo - Diez de Agosto	Primario	18	25
Joseguango Bajo	Félix Valencia	Primario	8	18
Mulaló	Mulaló	Medio	15	12
	Juan Pio Montufar-Juan de Dios	Primario	16	30
11 De Noviembre	Luís Fernando Ruiz	Primario	9	12
Poaló	Poaló	Medio	11	8
	García Moreno	Primario	14	14
S. Juan De Pastocalle	Pastocalle(Técnico Industrial)	Medio	10	19
	Manuel Matheu	Primario	14	38
Tanicuchí	Gral. Marco Aurelio Subia M.	Medio	14	22
	Batalla de Panupali	Primario	18	36
Toacaso	Toacaso	Medio	14	22
	Simón Rodríguez	Primario	19	32
			Total Estudiantes	**357**

Tabla 3.5: Promedio de estudiantes por aula de cada establecimiento seleccionado para el diseño de la red WMNs

Como se observa en la tabla los usuarios potenciales será la sumatoria de estudiantes por aula ya que debería existir un centro de cómputo con un número de computadores igual al promedio de estudiantes por aula para cada institución.

A este número hay que sumarle un 15%, esto debido a que el personal administrativo de los establecimientos educativos no esta considerado, logrando tener un total definitivo de 411 usuarios

Esto quiere decir que la red en el caso más crítico (casi nunca se da) tendrá que soportar el tráfico de 411 usuarios al mismo tiempo.

3.9.2.1.1 Correo electrónico

De forma general se determinó que el ancho de banda necesario para este tipo de servicio es 2.22Kbps, y de acuerdo a la figura 3.12 se tiene que el 16% de los encuestados usan correo electrónico, por lo tanto se tiene:

$$C_{CORREO} = 2.22\text{Kbps} * 0.16 * 411 = 145.99\text{Kbps}$$

3.9.2.1.2 Acceso a Internet (búsqueda de información)

De forma general se determinó que el ancho de banda necesario para este tipo de servicio es 6.66Kbps, y de acuerdo a la figura 3.12 se tiene que el 56% de los encuestados usan correo electrónico, por lo tanto se tiene:

$$C_{INTERNET} = 6.66\text{Kbps} * 0.56 * 411 = 1532.87\text{Kbps}$$

3.9.2.1.3 Ancho de banda necesario para aplicaciones adicionales

Para el cálculo del ancho de banda adicional, se considera el resto de servicios que se obtuvo en la encuesta como son: chat, juegos, música; adicionalmente se agrega los servicios de voz y videollamadas sobre Internet, lo que hace que en el futuro lo utiicen, y para cubrir estos posibles tráficos que generarían los servicios adicionales, se hace en base a las siguientes consideraciones, se toma como factor primordial la descarga de archivos de un tamaño promedio de 20Mbps que se debe descargar en menos de 30 minutos, para dar un buen servicio a los usuarios de la red. Entonces el ancho de banda necesario para los servicios

adicionales da como resultado 11.11Kbps. Y de acuerdo a los resultados de la pregunta cinco, el porcentaje de usuarios que requieren de servicios adicionales es el 28%, Entonces podemos concluir la siguiente relación:

$$C_{ADICIONAL} = 11.11Kbps * 0.28 * 411 = 1278.66Kbps$$

3.9.2.1.4 Capacidad total

La capacidad total para brindar servicio de internet a los sectores rurales, se obtiene reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 3.7. Se considera que la voz y videollamadas sobre internet están involucradas en los servicios adicionales, ya que en la actualidad estos servicios no son utilizados, pero eso no quiere decir que en el futuro este tipo de servicio no sea necesario.

$$C_{TOTAL} = 145.99Kbps + 1532.87Kbps + 1278.66Kbps \approx 3Mbps$$

De acuerdo con este resultado nuestro I.S.P (proveedor de servicios de internet) debe ofrecer este ancho de banda para nuestra red.

3.10 CRITERIOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RED WMNs

La planificación de frecuencias es un factor importante, ya que a través de esta optimizamos el rendimiento de la red, permitiendo la reutilización de frecuencias y disminución de la interferencia entre celdas contiguas.

Los equipos que trabajan en la banda de los 2.4 GHz, indican de 11 a 14 canales disponibles dependiendo del marco regulatorio de cada país. Sin embargo, cada canal superpone al canal adjunto, por tal motivo, se ha previsto que la mayoría de los equipos que trabajan en la banda de frecuencias de 2.4 GHz, vengan configurados en los canales 1, 6 y 11, para asegurar que no haya interferencia.

3.11 EQUIPOS PARA REDES WMNs

Los nodos Mesh pueden ser casi cualquier pieza de equipo computacional, desde Laptops hasta computadores re potenciadas y desde puntos de acceso modificados, hasta costosos equipos sofisticados. En el futuro habrá más y más dispositivos móviles, los cuales serán capaces de convertirse en nodos Mesh. El mercado de hardware MESH esta en desarrollo dinámico, la mayoría de los mercados clásicos abren nuevas plataformas y permite el desarrollo abierto estandarizado.

A continuación analizaremos algunos tipos de hardware MESH para redes inalámbricas.

3.11.1 EQUIPOS COMUNES PARA REDES WMNs

3.11.1.1 4G Access Cube

Este modelo ha desaparecido de la escena por algún tiempo, sin embargo fue utilizado de manera exitosa alrededor del año 2005 en muchos experimentos MESH y es todavía un buen ejemplo de cómo acercarse al concepto de un nodo MESH. Veamos sus características:

- Dimensiones físicas: 7x5x7cm
- Bajo consumo de potencia: 46W
- 100Mbps Ethernet
- Estándar 802.3a,f
- Hasta 2 interfaces WLAN (802.11a/b/g)
- Procesador de 400MHz.
- Memoria Flash de 32MB, y memoria RAM de 64MB
- Puerto USB
- Precio (2004) Aprox. Entre 200 y 400 Euros

Figura 3.13: 4G Access Cube

3.11.1.2 MeshNode

La presentación del nodo MESH (Figura 3.14) es una pequeña caja diseñada para intemperie, es impermeable y contiene un sistema operativo basado en Debían/GNULinux y dos tarjetas de radio con dos bandas (2.4 GHz & 5.8 GHz). Su precio aproximado es 500 Euros[53].

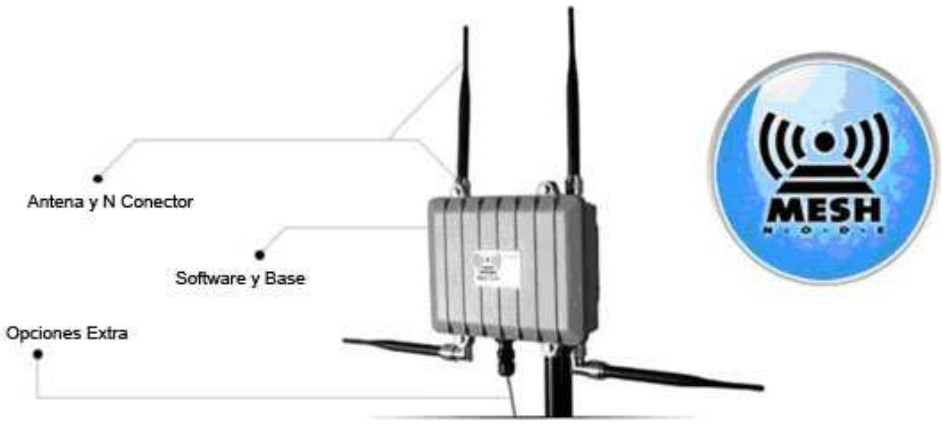


Figura 3.14: Nodo Mesh

3.11.1.3 Locustworld MeshAP

La empresa Locustworld con sede en el Reino Unido, produce el sistema MeshAP y está activo en muchos proyectos de desarrollo de comunidades. Podemos observar sus características físicas en la figura 3.15. El hardware tiene un procesador de 500 MHz, 128 MB RAM, dos tarjetas de radio, compact flash drive, y no tiene partes móviles. Precio alrededor de 250 Euros.

[53] http://www.meshnode.org/

Figura 3.15: Locustworld MeshAP

3.11.2 EQUIPOS ESPECÍFICOS PARA LA RED WMNs EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTÓN LATACUNGA

3.11.2.1 Estación cliente

3.11.2.1.1 Enrutador inalámbrico

El elemento principal de las estaciones cliente es el enrutador inalámbrico dado que es el encargado de conectarse con la red troncal o red de transporte y por ese medio a Internet. Además sirve para crear, mediante sus interfaces cableadas, las redes LAN (redes de área local) de cada estación final. Para estas tareas de enrutamiento se seleccionó el enrutador Linksys WRT54GL en las estaciones finales, éste se muestran en la figura 3.16.

Este dispositivo se encuentra ampliamente disponible en el mercado a un bajo costo. Está fabricado para enlaces cortos ya que posee una potencia de transmisión de 18 dBm aunque el alcance de éstos podrá aumentarse utilizando antenas exteriores. Además, su firmware[54] puede cambiarse por otros que permiten ampliar sus posibilidades de configuración.

Los enrutadores Linksys WRT54GL, GS, no fueron originalmente diseñados para usarse en exteriores, sin embargo son ampliamente utilizados bajo condiciones adversas por su bajo costo y fácil manejo, y viene a ser una de las opciones más interesantes y versátiles. Muchas distribuciones de firmware para los Linksys

[54] Bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo, el firmware es el intermediario entre las órdenes externas que recibe el dispositivo y su electrónica.

WRTGL estan disponibles en: OpenWRT, EWRT, Batbox, Sveasoft, Freifunk Firmware, y muchos más.

HARDWARE	RAM	FLASH	VELOCIDAD DEL CPU
WRT54GL v2	16	4	200 MHz
WRT54GLS	32	8	200 MHz
Procesador: BCM4712KPB	BCM4712KPB		
Precio (2007 en Euros)	60 (WRT54GL)	70 (WRT54GLS)	

Tabla 3.6: Especificaciones de Hardware Enrutador Linksys WRT54GL

Figura 3.16: Enrutador Linksys WRT54GL

El enrutador Linksys dispone de un puerto WAN donde se conecta la salida a Internet (si es el caso de que la estación final tenga salida directa a Internet), 4 puertos LAN donde se colocarán las computadoras o un teléfono IP, y una interfaz inalámbrica que se conecta con el repetidor más cercano.

El enrutador Linksys WRT54GL viene con un software inicial que no permite utilizarlo como un nodo Mesh, por lo que se ha de sustituir por un nuevo firmware. El software seleccionado es el OpenWRT, un firmware para sistemas embebidos basado en S.O. (sistema operativo) GNU/Linux que se puede grabar dentro de los enrutadores WRT54GL. Una de sus versiones, la Freifunk, incorpora el protocolo de encaminamiento dinámico OLSR dentro de la distribución.

3.11.2.1.2 Antenas

El enrutador inalámbrico Linksys en su presentación directa de fábrica es un enrutador inalámbrico para interiores, por lo cual viene con 2 antenas omnidireccionales incorporadas. Se puede adaptar estos enrutadores para poder realizar un enlace con el repetidor más cercano. Esto se logra sustituyendo las antenas con una antena omnidireccional de mayor ganancia, para este caso se eligió el modelo de antena hyperlink HG2412U-NF que opera a una frecuencia de 2.4GHz. Esta antena se ubica en el exterior del establecimiento donde se encuentre la estación final y se conecta al enrutador Linksys a través de un cable coaxial, un protector de línea y un pigtail, como se muestra en la Figura 3.17.

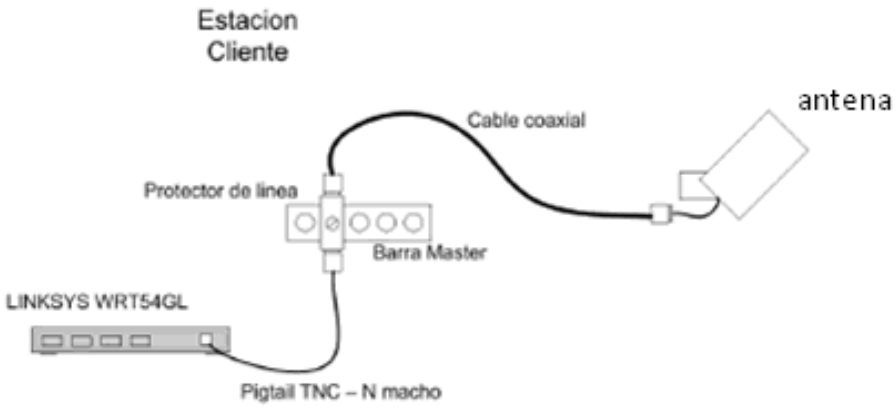
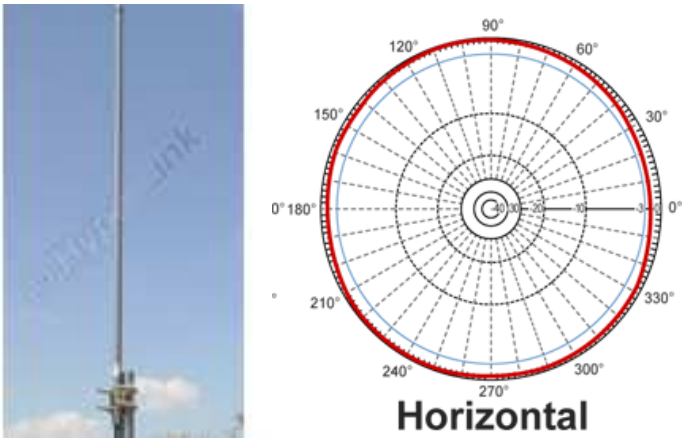


Figura 3.17: Esquema de conexiones entre el enrutador Linksys y una antena exterior



a) Vista física de la antena b) diagrama de radiación

Figura 3.18: Modelo de antena Hyperlink HG2412U-NF a una frecuencia de operación de 2.4GHz.

3.11.2.2 Repetidor

Los repetidores son equipos que interconectan las estaciones clientes, además están ubicados en los cerros o en posiciones elevadas para así poder repetir la señal hacia estaciones finales u otros repetidores con los que han de tener línea de vista. El conjunto de repetidores formarán la red troncal o red de transporte. Estos enlaces pueden ser de varios kilómetros llegando a haberse establecido algunos de más de 40 kilómetros para la tecnología Wi-Fi.

Es por ello que se tiene que realizar una cuidadosa elección de los equipos y un uso adecuado de los mismos, ya que estos enlaces no son sencillos. Estos equipo, son descritos con detalle a continuación.

El ejemplo de repetidor que se plantea a continuación se representa en la Figura 3.19. Es decir una estación en medio de la red troncal que tiene la capacidad de repetir la señal hacia ambos lados y para cada lado se debe tener la posibilidad de varias opciones de enlaces para que cumpla la condición de red mesh.

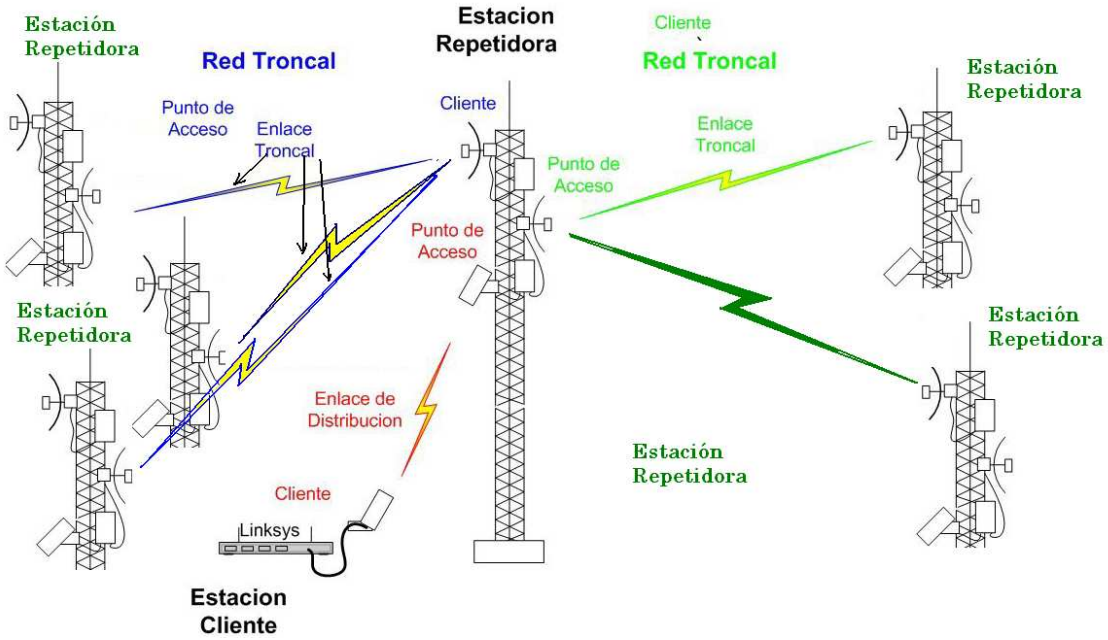


Figura 3.19: Ejemplo de repetidor Wi-Fi.

Sin embargo, también pueden darse otras combinaciones como el caso de repetidores que forman parte de una red de distribución y no de la troncal, o de estaciones finales que repiten la señal hacia otra, o de repetidores que dan servicio a más de una red de distribución, por lo que la configuración presentada en este ejemplo, no es la única.

3.11.2.2.1 Enrutador Inalámbrico

La función principal del enrutador inalámbrico es recibir información proveniente de otro enrutador por una de sus interfaces (inalámbrica o Ethernet) y transmitirla por otra interfaz hacia otro enrutador o estación final. Esta operación la puede realizar también entre cualquiera de sus interfaces ya que todas son de transmisión y recepción. Los requisitos que inicialmente necesita tener este enrutador son:

Bajo costo. No se pueden implementar soluciones de un alto costo que no sean sostenibles en el medio.

Reducido tamaño. De esta forma se asegura que el diseño final del enrutador sea lo más compacto posible.

3.20: Esquema Repetidor Figura

Robusto ante condiciones meteorológicas adversas. Ya que el enrutador se suele instalar en zonas de selva o alta montaña es necesario que tenga cierta robustez en cuanto a condiciones extremas de temperatura y humedad.

Tipo de procesador: El enrutador debe contar con un procesador lo suficientemente potente para poder realizar las diferentes tareas que se le exijan.

De acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente y luego de extensa investigación de equipos se selecciono al enrutador **Litestation2** *2.4 GHz* que cumple con la mayoría de estos parámetros.

Figura 3.21: Enrutador Litestation2 *2.4 GHz*

Las principales características técnicas de este equipo son: tiene un procesador Atheros AR2316 SOC de 180MHz con un alcance máximo de 50 Km lo que lo hace ideal para enlaces WI-FI de larga distancia, tanto la distancia como ACKtimeout pueden ser regulados por el usuario para mejorar el rendimiento de la red. Trabaja con los estandares IEEE 802.11b y IEEE 802.11g, la principal ventaja de este equipo radica en que su sistema operativo puede ser cambiado de acuerdo con los requerimientos del usuario para nuestro caso vamos a instalar en este equipo el protocolo de enrutamiento OLSR.

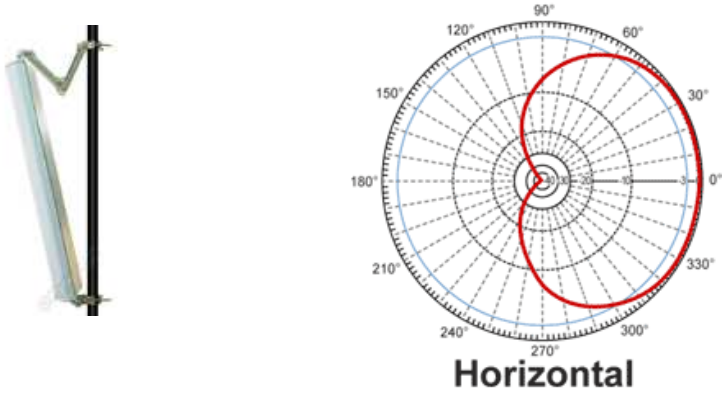
Procesador	Atheros AR2316 SOC, MIPS 4KC, 180MHz
Memoria	16MB SDRAM, 4MB Flash
Protocolos de seguridad	WEP/WPA
Interfaces de red	2 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45)
Estándar	IEEE 802.11b y IEEE802.11g
Potencia de Salida	Variable máximo 26 dBm

Tabla 3.6: Características técnicas de enrutador LiteStation 2.4GHz

3.11.2.2.2 Antenas

Dada la diversidad de situaciones en las que se necesitan las antenas, tales como: Punto a Punto, Punto multipunto, con distancia entre los puntos variable, entre centenas de metros y decenas de kilómetros, y con distintas características ambientales de los lugares donde se han instalado, se utilizan multitud de modelos de antenas en función de estos requerimientos. Para la elección de estos equipos se ha ubicado la marca Hyperlink, ya que es una marca ampliamente disponible y su relación entre calidad y precio la hacen una de las mejores del mercado. Dentro de esta marca y dado que las antenas siempre se instalan a la intemperie, se eligen los modelos específicos para exteriores. A partir de aquí la elección de la antena depende de la ganancia necesaria de la misma para poder realizar el enlace y de la frecuencia en que se va a trabajar.

Para el diseño en las estaciones repetidoras se ha seleccionado el siguiente modelo de antena sectorial HG2420P-120 que opera a una frecuencia de 2.4GHz, puesto que tiene un gran ángulo de radiación lo que lo hace ideal para cubrir varias estaciones repetidoras hacia la antena.



a) Vista física de la antena b) diagrama de radiación

Figura 3.22: Modelo de antena Hyperlink HG2420P-120 a una frecuencia de operación de 2.4GHz.

3.12 DISEÑO DE LA RED WMNs CON RADIO MOBILE

Para empezar con el diseño de los enlaces lo primero que se hizo es descargar el mapa de la zona en el cuál se va hacer el diseño, en donde se ubicará un punto central (latitud y longitud) aproximado del mapa a descargar. Para determinar el punto central aproximado del mapa se lo hizo a través de un programa adicional en línea que nos proporciona los mapas de todo el globo terráqueo, este programa es Google Earth figura 3.23.

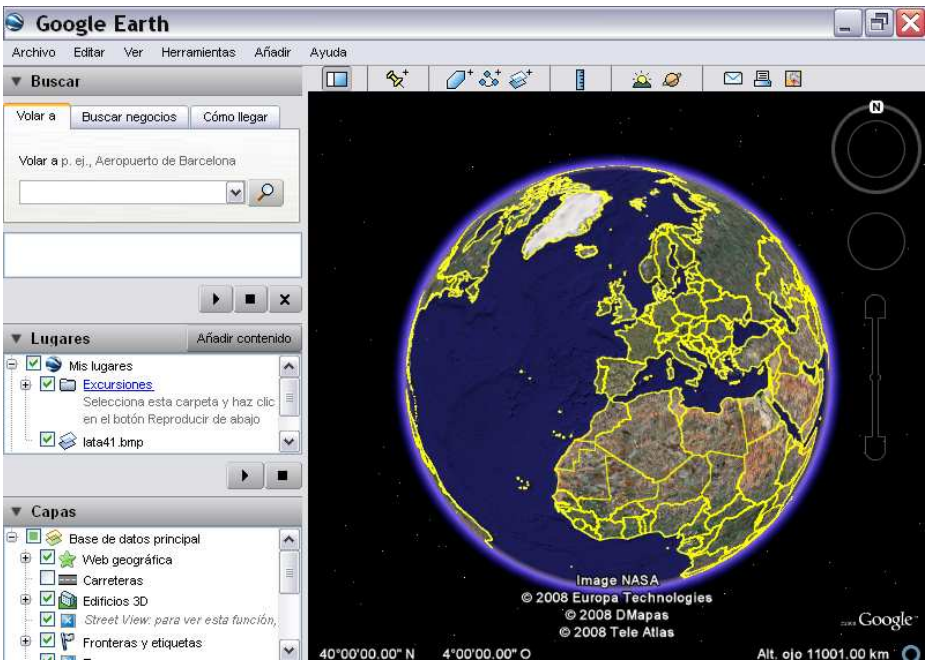


Figura 3.23: Ventana principal programa Google Earth

Solamente basta con escribir Latacunga en su buscador y después elegir dentro las opciones de búsqueda Ecuador- Latacunga para que inmediatamente nos muestre el mapa del cantón Latacunga, es necesario con las herramientas de zoom y reducción del propio programa ajustar el tamaño adecuado del mapa para ubicar el punto que se desea encontrar, esto es relativamente fácil ya que cuando se mueve el puntero dentro del mapa, el programa automáticamente presenta las coordenadas de latitud y longitud de donde se encuentra en ese momento el puntero, para este caso el punto elegido fue, latitud 00°47'30,0" y longitud 78°36'49,7" la figura 3.24 muestra lo dicho hasta aquí.

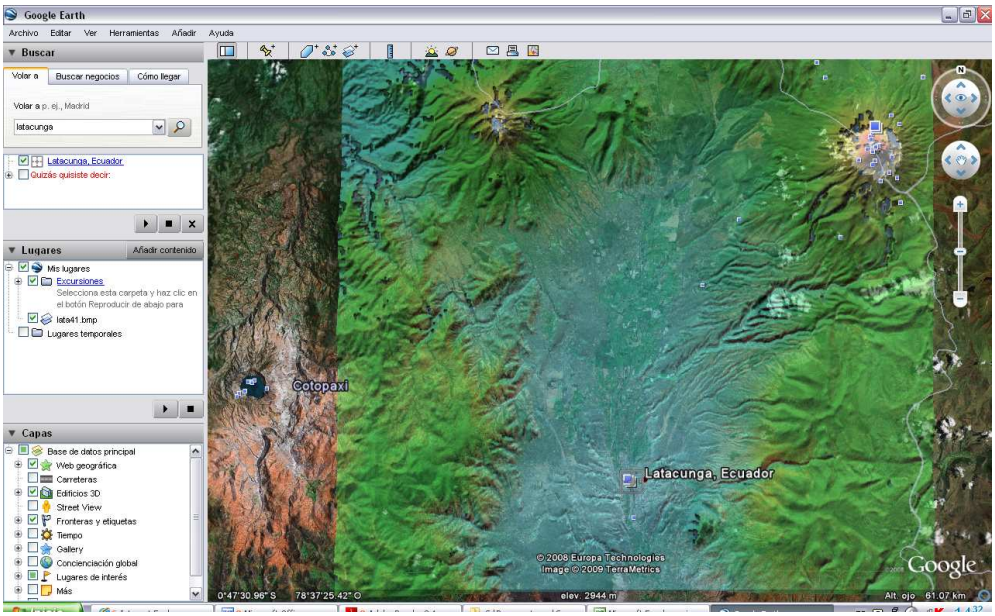


Figura 3.24: Presentación del mapa de Latacunga con el programa Google Earth

3.12.1 DESCARGA DEL MAPA

Abrimos el programa Radio Mobile en la barra de menú en la opción archivo seleccionamos la opción propiedades del mapa y en la ventana que se despliega ingresamos los datos que se aprecian en la figura 3.25, y luego hacemos clic en el botón extraer e inmediatamente el mapa se empieza a descargar desde Internet y se obtiene el mapa que muestra en la figura 3.26. Este es un mapa topográfico de la zona en la cual vamos hacer el diseño de la red WMNs.

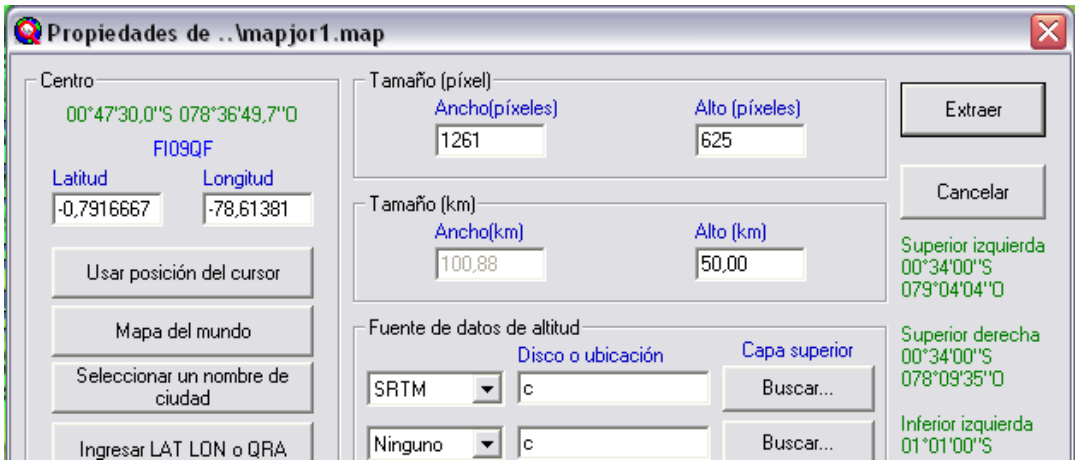


Figura 3.25: Ventana propiedades del mapa

Figura 3.26: Mapa topográfico de Latacunga descargado con Radio Mobile

3.12.2 UBICACIÓN DE LAS UNIDADES

Las unidades se refieren a la posición geográfica de un lugar en particular determinado por sus coordenadas de latitud y longitud, así como su altura con respecto al mar, estos puntos, para el caso de radio Mobile son llamados unidades, son los lugares donde se va ubicar un punto de acceso, una estación cliente, una radio base etc. Los puntos (unidades) de servicio o clientes fueron determinados en la visita técnica mediante el empleo de un GPS, la tabla 3.8, muestra esos puntos.

PARROQUIA	UNIDAD EDUCATIVA	NIVEL	LATITUD	LONGITUD	ALTURA [m]
Aláquez	Gonzalo Alban Rumazo	Medio	00°51'49"	78°35'51"	2944.4
	Abdón Calderón	Primario	00°51'54"	78°35'46"	2952.1
Belisario Quevedo	Eudofilo Álvarez	Medio	00°59'10"	78°34'53"	2773.6
	Luís Felipe Chávez	Primario	00°59'10"	78°35'02"	2779.3
Guaytacama	San José	Medio	00°49'38"	78°38'34"	2910.5
	Eugenio Espejo – Diez de Agosto	Primario	00°49'28"	78°38'31"	2918.8
Joseguango Bajo	Félix Valencia	Primario	00°49'04"	78°35'51"	2924.4
Mulaló	Mulaló	Medio	00°46'51"	78°34'47"	3005.8
	Juan Pió Montufar-Juan de Dios	Primario	00°46'50"	78°34'36"	3017.2
11 De Noviembre	Luís Fernando Ruiz	Primario	00°54'34"	78°40'22"	2995.3
	Archipiélago de Colón	Primario	00°55'57"	78°40'35"	2932.7
Poaló	Poaló	Medio	00°52'59"	78°40'26"	2903.5
	García Moreno	Primario	00°53'04"	78°41'31"	2906.5
S. Juan De Pastocalle	Pastocalle (Técnico Industrial)	Medio	00°43'55"	78°38'18"	3113.2
	Manuel Matheu	Primario	00°43'43"	78°38'07"	3127.0
Tanicuchí	Gral. Marco Aurelio Subía M.	Medio	00°46'45"	78°38'13"	2985.2
	Batalla de Panupali	Primario	00°46'47"	78°38'16"	2985.6
Toacaso	Toacaso	Medio	00°45'24"	78°41'00"	3166.7
	Simón Rodríguez	Primario	00°45'22"	78°41'13"	3177.5

Tabla 3.8: Puntos determinados con el GPS en la visita técnica a las parroquias rurales del cantón Latacunga

De acuerdo a lo mencionado en el apartado 3.7.2 para el diseño definitivo se seleccionó solamente una escuela o colegio, entonces los puntos utilizados en el programa son los mostrados en la tabla 3.9.

PARROQUIA	UNIDAD EDUCATIVA	NIVEL	LATITUD	LONGITUD	ALTURA [m]
Aláquez	Gonzalo Alban Rumazo	Medio	00°51'49"	78°35'51"	2944.4
Guaytacama	San José	Medio	00°49'38"	78°38'34"	2910.5
Joseguango Bajo	Félix Valencia	Primario	00°49'04"	78°35'51"	2924.4
Mulaló	Juan Pió Montufar-Juan de Dios	Primario	00°46'50"	78°34'36"	3017.2
11 De Noviembre	Luís Fernando Ruiz	Primario	00°54'34"	78°40'22"	2995.3
Poaló	Poaló	Medio	00°52'59"	78°40'26"	2903.5
S. Juan De Pastocalle	Pastocalle (Técnico Industrial)	Medio	00°43'55"	78°38'18"	3113.2
Tanicuchí	Batalla de Panupali	Primario	00°46'47"	78°38'16"	2985.6
Toacaso	Toacaso	Medio	00°45'24"	78°41'00"	3166.7

Tabla 3.9: Coordenadas utilizadas para la ubicación de las unidades en el programa Radio Mobile

Para ubicar estos puntos en el programa seleccionamos dentro de la barra menú la opción propiedades de la unidad y a continuación ingresamos los datos de latitud y longitud con sus respectivos nombres.

Para el caso de los puntos de las estaciones repetidoras se determinaron utilizando una herramienta del programa Radio Mobile, esta herramienta nos permite encontrar los puntos más altos de una determinada zona y ubicar las estaciones repetidoras.

Los puntos seleccionados los mostrados en la tabla 3.10.

REPETIDORA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA [m]	COBERTURA
RB(LZR01)	00°53'36"	78°40'48,6"	3007	Poaló,11 de Noviembre
RB(LZR02)	00°51'54,8"	78°36'8,2"	2969	Aláquez
RB(LZR03)	00°48'34,9"	78°36'49,7"	2931	Mulaló y Joseguango Bajo
RB(LZR04)	00°46'45"	78°38'14"	2985,6	Guaytacama, Toacaso, Tanicuchí
RB(LZR04)	00°44'23,1"	78°38'41,3"	3114	San Juan de Pastocalle
RB(Pasarela)	00°56'06,6"	78°38'28,4"	2876	RB (LZR01), RB(LZR02), RB(LZR03)

Tabla 3.10: Ubicación de las repetidoras de la red WMNs y su cobertura

Luego de ingresar todos los puntos en programa se obtiene la figura 3.27.

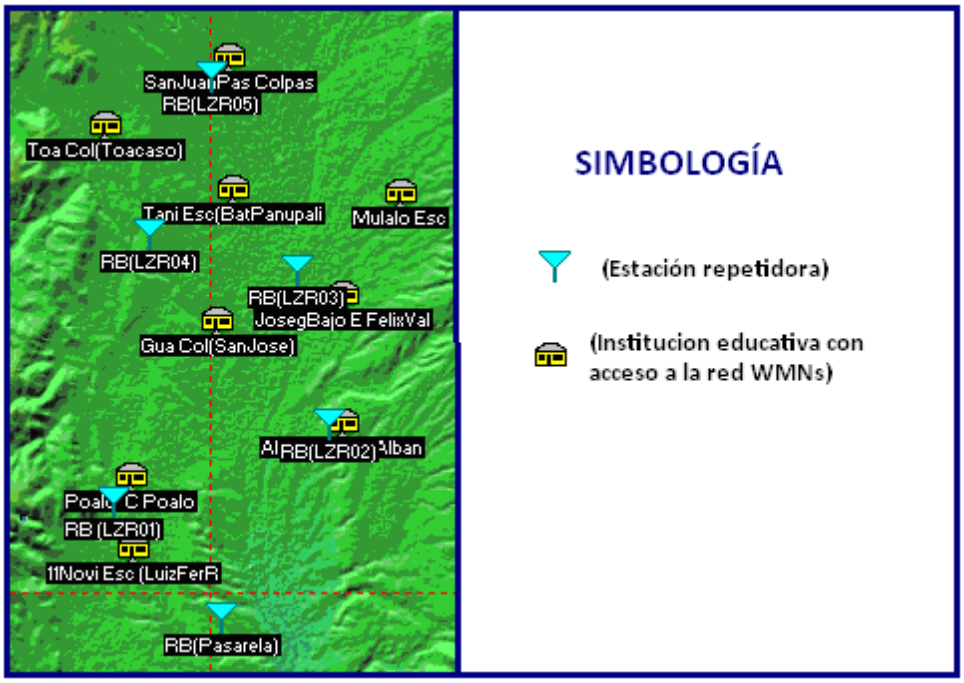


Figura 3.27: Ubicación gráfica de los puntos de servicio y estaciones repetidoras dentro del mapa descargado por el programa Radio Mobile

3.12.3 CREACIÓN DE SISTEMAS

En la opción sistemas dentro de la ventana de Propiedades de las redes debemos poner los datos de los equipos que vamos a utilizar en este caso necesitamos crear tres sistemas:

Sistema Cliente1: son los equipos que conectan al cliente (una red, punto de acceso, etc.) con un nodo o una estación repetidora en nuestro caso. La característica de este sistema se basa en que la distancia entre el cliente (punto de acceso) el nodo no debe sobre pasar los dos kilómetros, para este sistema utilizaremos los siguientes datos de los equipos.

Frecuencia	2.4GHz
Potencia de salida	18 dBm
Sensibilidad	-85 dBm a -94 dBm

a) Datos del Router **Linksys WRT54GL**

Cable	Pérdida dB/m]	Longitud máxima [m]	Pérdida total[dB/m]
RG 58	0.83	5	4.2

b) *Datos del Cable*

Antena	Ganancia	Polarización
HG2412U-NF	12dBi	Horizontal

c) Datos *de la Antena*

Tabla 3.11: Datos de los equipos utilizados para el Sistema Cliente 1

Sistema Cliente 2: Tiene la misma función que los equipos de sistema cliente 1 la diferencia radica en la distancia, ya que la distancia con el nodo más cercano sobrepasa los dos kilómetros, entonces aquí se hace necesario un router con mejores características y para esta clase de situaciones se utilizará el enrutador

Litestation2 2.4 GHz, entonces para este sistema utilizaremos los siguientes datos.

Frecuencia	2.4GHz
Potencia de salida	20 dBm
Sensibilidad	-74 dBm a -94 dBm

a) Datos del Enrutador **Litestation2** *2.4 GHz*

Cable	Pérdida [dB/m]	longitud máxima [m]	Pérdida total[dB]
RG 58	0.83	5	4.2

b) *Datos del Cable*

Antena	Ganancia	Polarización
HG2412U-NF	12dBi	Horizontal

c) Datos *de la Antena*

Tabla 3.12: Datos de los equipos utilizados para el Sistema Cliente 2

Sistema Nodo: Son los equipos utilizados para comunicarse entre estaciones repetidoras, esto significa que los equipos a utilizarse son de mejores características técnicas con respecto a los equipos utilizados para comunicarse entre estaciones clientes y estaciones repetidoras.

A continuación se muestran mediante tablas los valores que vamos a utilizar en el sistema nodo.

Frecuencia	2.4GHz
Potencia de salida	23 dBm
Sensibilidad	-74 dBm a -94 dBm

a) Datos del Enrutador **Litestation2** *2.4 GHz*

Cable	Pérdida [dB/m]	longitud máxima	Pérdida total[dB]
RG 58	0.83	4	3.32

b) *Datos del Cable*

Antena	Ganancia	Polarización
HG2420P-120	20dBi	Horizontal

c) Datos *de la Antena*

Tabla 3.13: Datos de los equipos utilizados para el Sistema Nodo

La figura 3.28: Muestra la creación de estos sistemas en el programa Radio Mobile, se puede apreciar como este programa nos permite ingresar los datos reales de los equipos que se implementarán físicamente en la red.

Figura 3.28: Ventana de creación de sistemas en Radio Mobile

3.12.4 CREACIÓN DE SUBREDES

Radio Mobile no trabaja con una sola red global sino que se basa en conjunto de varias subredes para formar una red global, pero como todas las subredes tienen parámetros generales referentes a frecuencia, polarización de las antenas, tipo de clima, etc. para cada subred que vamos a crear, en la opción parámetros dentro de ventana de propiedades de las redes debemos llenar los datos de la tabla 3.14.

La figura 3.29 muestra la ventana de parámetros en donde debemos llenar los valores de la tabla 3.14. Hay que recordar que para cada subred creada le asignaremos unidades, sistemas.

PARÁMETRO	VALOR
Frecuencia Min	2412
Frecuencia Max	2462
Refractividad de la superficie	301
Permitividad relativa al suelo	15
Difusión	10% para el tiempo, ubicaciones, situaciones
Perdida adicional	10% para bosque
Polarización	Horizontal
Clima	Continental Templado
Conductividad del suelo	0,005

Tabla 3.14: Valores que se deben llenar en la opción parámetros para todas las subredes que se van a formar[55]

[55] Estos valores son empíricos y han sido determinados mediante la implementación de redes similares y zonas andinas en Perú tal como lo detalla el libro REDES INALAMBRICAS PARA ZONAS RURALES, capítulo 3 Redes WiFi para largas distancias de Pontificia Universidad Católica del Perú.

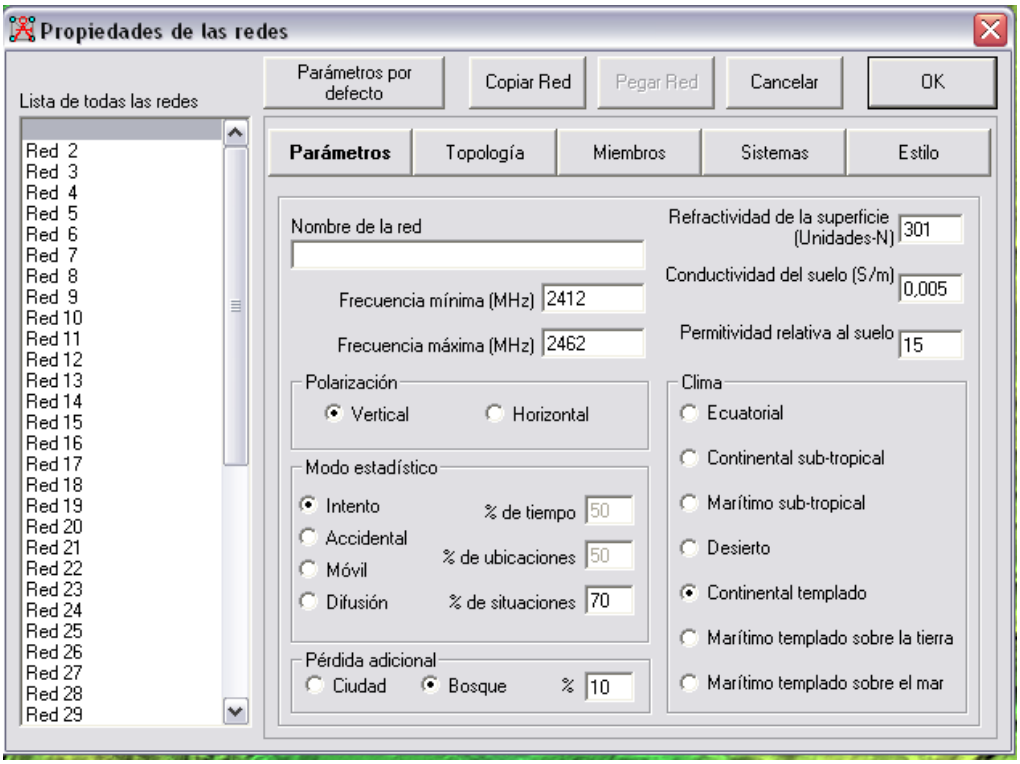


Figura 3.29: Ventana de parámetros dentro de la opción de propiedades de las redes

3.12.4.1 Subred Poaló y 11 de Noviembre.

Esta subred va a estar formada por la radio base RB(LZR01) que dará cobertura a las parroquias de Poaló y 11 de Noviembre; además está enlazada a través de un protocolo de enrutamiento en malla con las radio bases RB(LZR02), RB(LZR03), RB(LZR04), RB(Pasarela), Hay que recalcar que a pesar de que la radio base RB(LZR01) puede comunicarse con varias radios bases no significa que por todos los enlaces se estén transmitiendo datos del usuario sino que según el protocolo de enrutamiento en malla solamente habrá transmisión de información entre el enlace con mejores condiciones que se encuentre en ese momento, este concepto es válido para todas las demás subredes.

El equipo utilizado para los enlaces entre radio bases consta principalmente de enrutadores Litestation2 *2.4 GHz*, este equipo en la parte de configuración debemos configurarlo con la distancia máxima para un enlace dado, en este caso con RB(ZRL04) cuya distancia aproximada es de 10.83 Km, a esta distancia debemos añadir un margen adicional de distancia para que el equipo funcione en forma adecuada y este criterio también sirve para las demás subredes.

El tipo de antenas utilizadas es hyperlink modelo HG2420P-120 de 20dBi de ganancia con un ángulo de radiación de 120 grados, para que cubra a las todas las radio bases involucradas en esta subred.

Los equipos utilizados en los puntos de acceso al servicio son: Router Linksys modelo WRT54GL y una antena omnidireccional HyperlinK modelo HG2412U-NF con una ganancia de 12dBi

En la figura 3.30 se puede observar la radio bases y localidades que forman parte de esta subred. Otro factor interesante es ver si existe línea de vista entre las diferentes radio bases, para esto nos ayudamos de programa Radio Mobile que además nos da la grafica del perfil del terreno entre enlaces específicos. Aquí se presentara solamente los resultados del enlace y perfil entre las radio bases que estén a mayor distancia, en este caso es entre las radio bases RB(ZRL01) y RB(ZRL04).

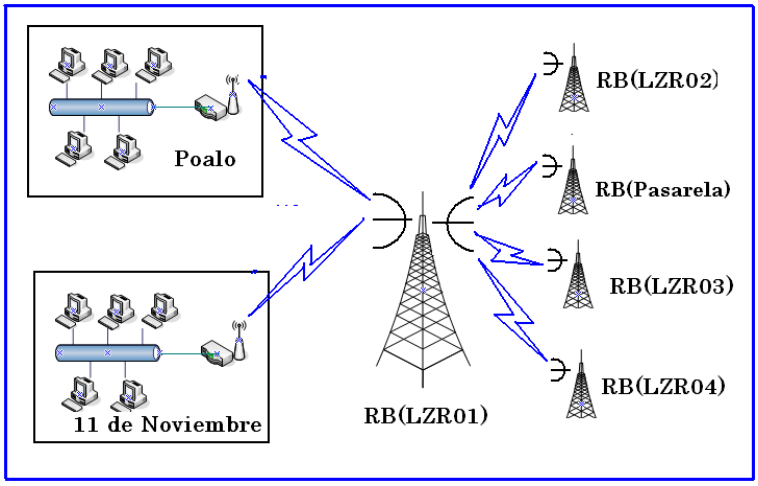


Figura 3.30: Subred Poaló y 11 de Noviembre

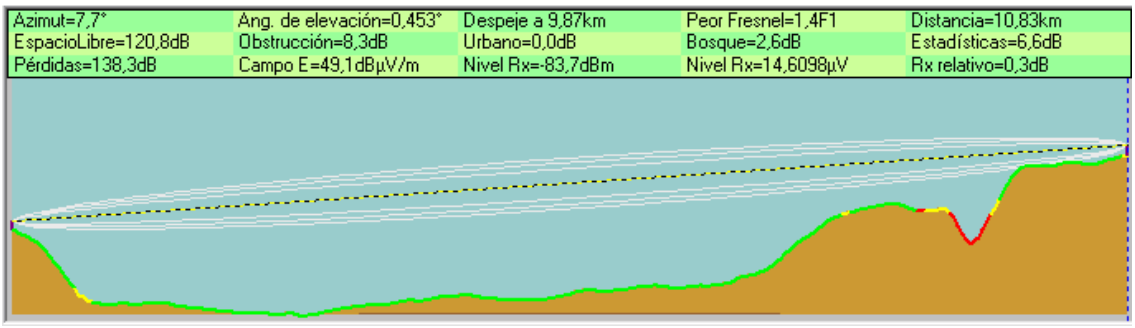


Figura 3.31: Enlace y perfil de terreno entre RB(LZR01) y RB(LZR04)

DATOS DEL ENLACE ENTRE RB(LZR01) y RB(LZR04)
La distancia entre RB(LZR01) y RB(LZR04) es 10,8 km (6,7 miles)
Azimut norte verdadero = 7,7°, Azimut Norte Magnético = 9,4°, Angulo de elevación = 0,4529°
Variación de altitud de 200,7 m
El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 1,4F1 a 9,9km
La frecuencia promedio es 2437,000 MHz
Espacio Libre = 120,8 dB, Obstrucción = 8,3 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 2,6 dB, Estadísticas = 6,6 dB
La pérdida de propagación total es 138,3 dB
Ganancia del sistema de RB(LZR01) a RB(LZR04) es de 141,6 dB (cardio.ant a 7,7° ganancia = 20,0 dB)
Ganancia del sistema de RB(LZR04) a RB (LZR01) es de 141,6 dB (cardio.ant a 187,7° ganancia = 12,6 dB)
Peor recepción es 3,3 dB sobre el señal requerida a encontrar
70,000% de situaciones

Tabla 3.16: Resultados obtenidos por el programa Radio Mobile para el enlace entre RB(LZR01) y RB(LZR04)

Como se puede apreciar en la figura 3.31, existe una perfecta línea de vista entre las radio bases RB(ZRL01) y RB(LZR04), de la tabla 3.16 podemos concluir que el mayor obstáculo está aproximadamente a 9.9Km de RB(LZR01) en dirección a RB(LZR04) pero garantiza aproximadamente el 140% de despeje de la primera zona de fresnel, hay que recordar que el programa no toma en cuenta las obstrucciones debido a árboles y construcciones civiles, pero tampoco representa mayor problema ya que en la visita técnica se pudo constatar que estos obstáculos no representan ningún problema para los enlaces.

3.12.4.2 Subred Aláquez.

Esta subred va a estar formada por la radio base RB(LZR02) que dará cobertura a la parroquia de Aláquez y además está enlazada a través de un protocolo de enrutamiento en malla con las radio bases RB(LZR01), RB(LZR03), RB(LZR04) y RB(Pasarela).

El equipo utilizado para los enlaces entre radio bases consta principalmente de enrutadores Litestation2 *2.4 GHz*, para esta subred el enrutador debe ser configurado con la distancia máxima para un enlace dado, en este caso con

RB(ZRL04) cuya distancia aproximada es de 10,49 Km. El tipo de antenas utilizadas es Hyperlink modelo HG2420P-120 de 20dBi de ganancia con un ángulo de radiación de 120 grados.

Los equipos utilizados en los puntos de acceso al servicio son: Router Linksys modelo WRT54GL y una antena omnidireccional Hyperlink modelo HG2412U-NF con una ganancia de 12dBi.

En la figura 3.32, puede observar las radios bases y localidades que forman parte de esta subred. Y en la figura 3.33, se aprecia el perfil del enlace más largo en este caso entre RB(LZR02) con RB(LZR04)

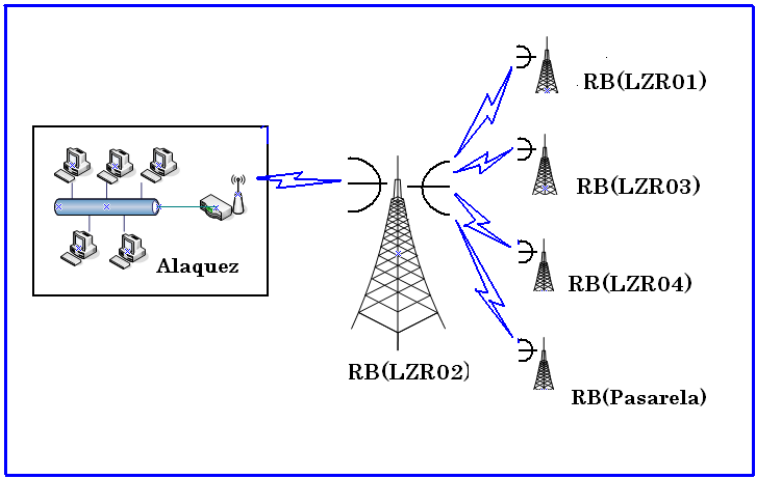


Figura 3.32: Subred Aláquez

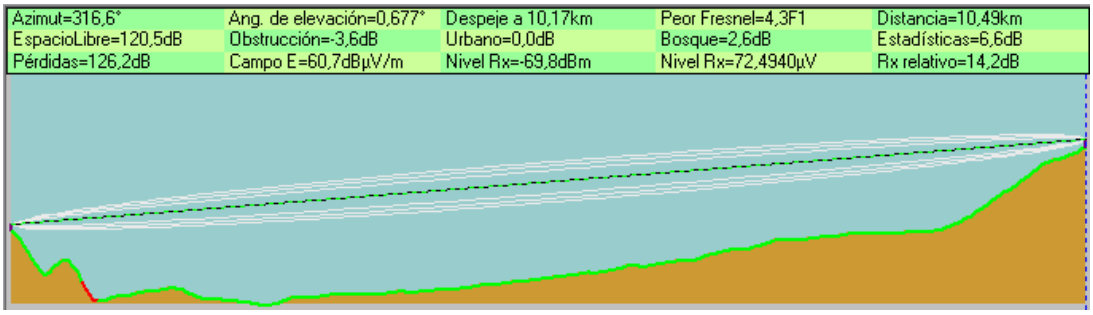


Figura 3.33: Enlace y perfil de terreno entre RB(LZR02) y RB(LZR04)

DATOS DEL ENLACE ENTRE RB(LZR02) y RB(LZR04)
La distancia entre RB(LZR02) y RB(LZR04) es 10,5 km (6,5 miles)
Azimut norte verdadero = 316,6°, Azimut Norte Magnético = 318,4°, Angulo de elevación = 0,6765°
Variación de altitud de 245,2 m
El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 4,3F1 a 10,2km
La frecuencia promedio es 2437,000 MHz
Espacio Libre = 120,5 dB, Obstrucción = -3,6 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 2,6 dB, Estadísticas = 6,6 dB
La pérdida de propagación total es 126,2 dB
Ganancia del sistema de RB(LZR02) a RB(LZR04) es de 143,4 dB (cardio.ant a 316,6° ganancia = 19,4 dB)
Ganancia del sistema de RB(LZR04) a RB(LZR02) es de 143,4 dB (cardio.ant a 136,6° ganancia = 15,0 dB)
Peor recepción es 17,2 dB sobre el señal requerida a encontrar
70,000% de situaciones

Tabla 3.17: Resultados obtenidos por el programa Radio Mobile para el enlace entre RB(LZR02) y RB(LZR04)

Como se ve en la figura 3.33, existe una perfecta línea de vista entre las radio bases RB(LZR02) y RB(LZR04), de los resultados de la tabla 3.17, tampoco existe ningún obstáculo en la primera zona de Fresnel.

3.12.4.3 Subred Mulaló y Joseguango Bajo.

Esta subred va a estar formada por la radio base RB(LZR03) que dará cobertura a las parroquias de Mulaló y Joseguango Bajo, y además está enlazada a través de un protocolo de enrutamiento en malla con las radio bases RB(LZR01), RB(LZR02),RB(LZR04), RB(LZR05) Y RB(Pasarela).

El equipo utilizado para los enlaces entre radio bases consta principalmente de enrutadores Litestation2 *2.4 GHz*, para esta subred el enrutador debe ser configurado con la distancia máxima para un enlace dado, en este caso entre RB(LZR03) y RB(Pasarela) cuya distancia aproximada es de 14.27 Km. El tipo de antenas utilizadas es hyperlink modelo HG2420P-120 de 20dBi de ganancia con un ángulo de radiación de 120 grados.

En la figura 3.34: se puede observar las radios bases y localidades que forman parte de esta subred y en la figura 3.35. Se aprecia el enlace más largo en este caso entre RB(ZRL03) con RB(Pasarela).

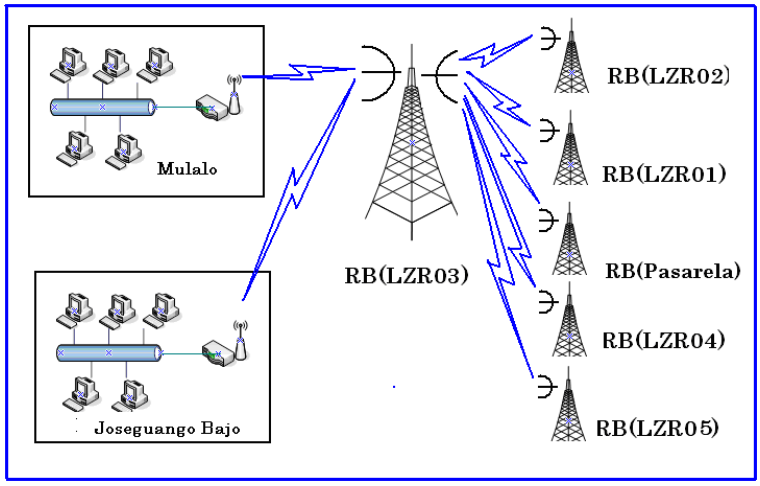


Figura 3.34: Mulaló y Joseguango Bajo

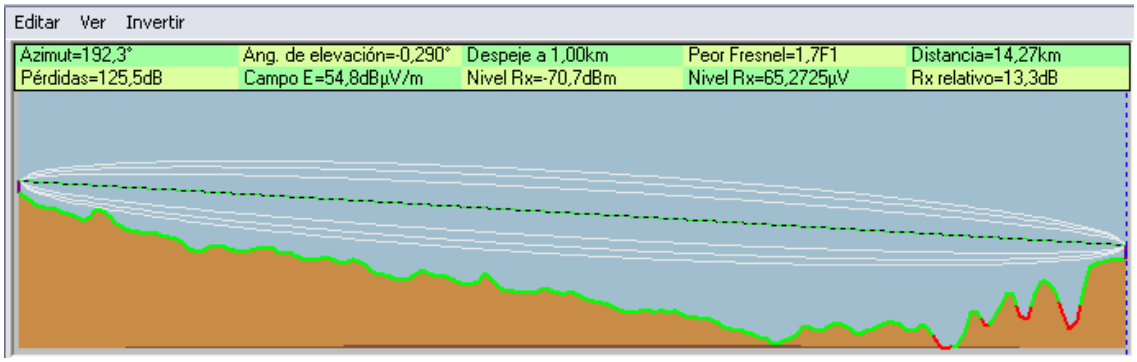


Figura 3.35: Enlace y perfil de terreno entre RB(LZR03) y RB(Pasarela)

DATOS DEL ENLACE ENTRE RB(LZR03) y RB(Pasarela)
La distancia entre RB(LZR03) y RB(Pasarela) es 14,3 km (8,9 miles)
Azimut norte verdadero = 192,3°, Azimut Norte Magnético = 194,1°, Angulo de elevación = -0,2903°
Variación de altitud de 135,7 m
El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 1,7F1 a 1,0km
La frecuencia promedio es 2437,000 MHz
Espacio Libre = 123,2 dB, Obstrucción = -4,2 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 6,5 dB
La pérdida de propagación total es 125,5 dB
Ganancia del sistema de RB(LZR03) a RB(Pasarela) es de 141,8 dB (cardio.ant a 192,3° ganancia = 12,8 dB)
Ganancia del sistema de RB(Pasarela) a RB(LZR03) es de 141,8 dB (cardio.ant a 12,3° ganancia = 20,0 dB

Peor recepción es 16,3 dB sobre el señal requerida a encontrar
70,000% de situaciones

Tabla 3.18: Resultados obtenidos por el programa Radio Mobile para el enlace entre RB(LZR03) y RB(Pasarela)

Para el caso de los equipos utilizados en los puntos de acceso al servicio hay que diferenciar dos tipos de equipos utilizados, uno entre RB(LZR03) y Mulaló ya que la distancia aproximada es 5.25Km, como ya se analizó anteriormente el estándar IEE802.11 b/g puede funcionar a una distancia máxima teórica de 3 Km que en la práctica esta distancia es mucho menor entonces se hace necesario para este enlace un equipo diferente al enrutador WRT54GL que tome en cuenta esta distancia para que el enlace funcione en buenas condiciones y este se logra con el enrutador Litestation2 2.4 GHz, además este equipo tiene la capacidad de modificar su potencia de transmisión. En la figura 3.36 se observa el enlace RB(LZR03) y Mulaló y se puede observar que existe línea de vista, pero la primera zona de fresnel tiene una obstrucción pero que no sobrepasa el 40% de la primera zona Fresnel a una distancia aproximada de Mulaló en dirección a RB(LZR03) de 0.96Km.

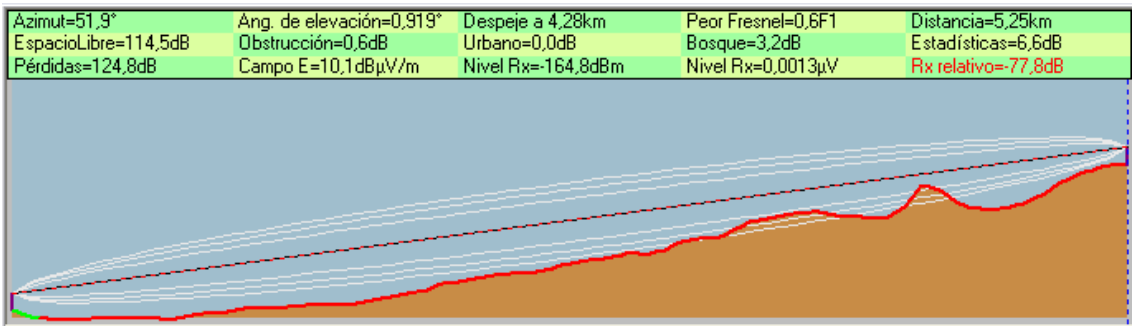


Figura 3.36: Enlace y perfil de terreno entre RB(LZR03) y Mulaló

Para el enlace entre RB(LZR03) y Joseguango Bajo la distancia es de 2Km y no representa ningún inconveniente aquí se puede utilizar los enrutadores Linksys modelo WRT54GL y una antena omnidireccional HyperlinK modelo HG2412U-NF con una ganancia de 12dBi.

3.12.4.4 Subred Guaytacama, Tanicuchí y Toacaso.

Esta subred va a estar formada por la radio base RB(LZR04) que dará cobertura a las parroquias de Guaytacama, Tanicuchí y Toacaso, además esta enlazada a través de un protocolo de enrutamiento en malla con las radio bases RB(LZR01), RB(LZR02),RB(LZR04), RB(LZR05).

El equipo utilizado para los enlaces entre radio bases consta principalmente de enrutadores Litestation2 *2.4GHz y* antenas Hyperlink modelo HG2420P-120, el enrutador debe ser configurado con la distancia máxima para un enlace dado en esta subred en este caso con RB(LZR01) cuya distancia es 10.83 Km.

En la figura 3.37: se puede observar las radios bases y localidades que forman parte de esta subred.

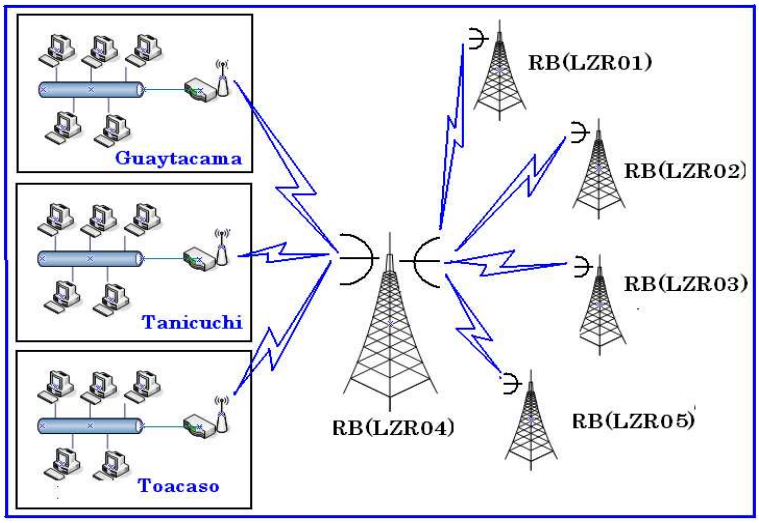
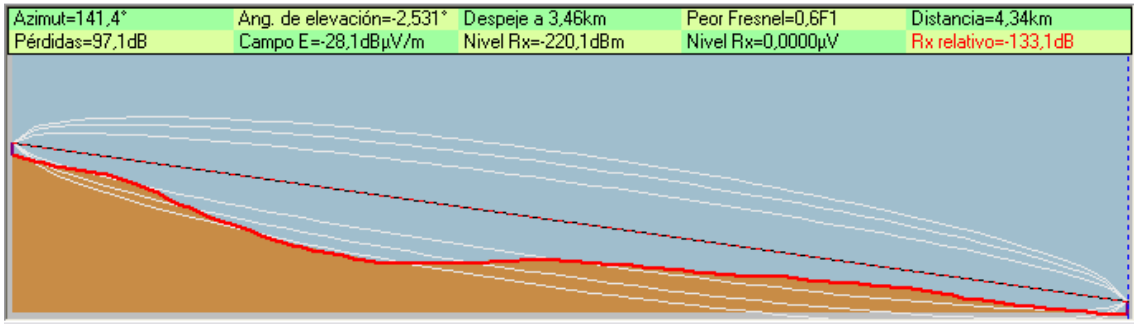


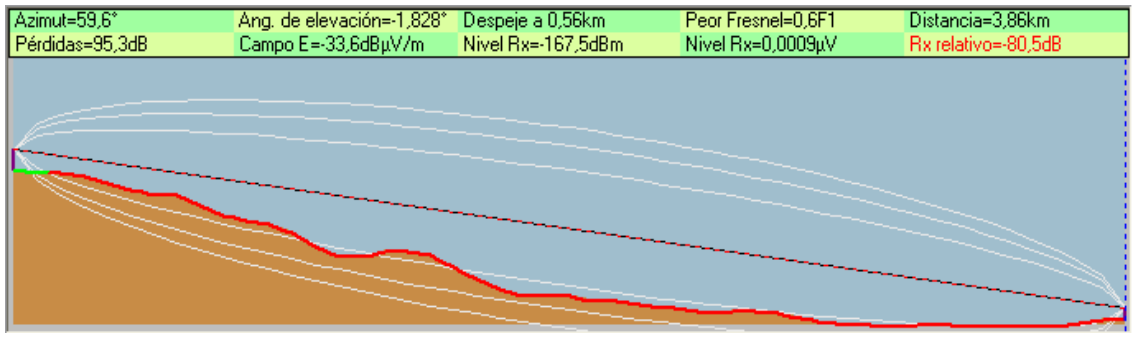
Figura 3.37: Subred Guaytacama, Tanicuchí y Toacaso

La distancia que existe entre Guaytacama, Tanicuchí y Toacaso a RB (LZR04) sobrepasa los 3Km por lo cual habrá que utilizar enrutadores LiteStation2 2.4GHz en cada parroquia, para que los enlaces entre estas localidades y la RB (LZR04), funcione en buenas condiciones, ya que el enrutador Litestation2 2.4 GHz permite modificar su potencia de transmisión, las antenas utilizadas serán hyperlink modelo HG2412U-NF de 12 dBi. En la figura 3.38 se observa los enlaces para estas tres parroquias con RB (LZR04) y se puede observar que no existe ningún inconveniente para estos enlaces pues tenemos un despeje de

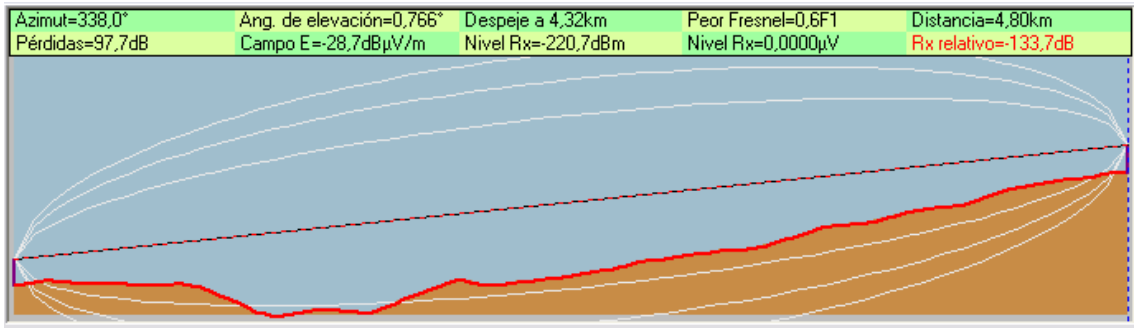
aproximadamente el 60% de la primera zona de fresnel lo que asegura una buena calidad del enlace.



a) Enlace y perfil de terreno entre Guaytacama y RB (LRZ04)



b) Enlace y perfil de terreno entre Tanicuchí y RB (LRZ04)



c) Enlace y perfil de terreno entre Toacaso y RB (LRZ04)

Figura 3.38: Las figuras a, b, c muestran los enlaces y perfiles de terreno entre Guaytacama, Tanicuchí y Toacaso con la estación RB (LZR04)

3.12.4.5 Subred San Juan de Pastocalle

Esta subred va a estar formada por la radio base RB(LZR05) que dará cobertura a la parroquia de San Juan de Pastocalle, además está enlazada a través de un protocolo de enrutamiento en malla con las radio bases RB(LZR02),RB(LZR03), RB(LZR04).

El equipo utilizado para los enlaces entre radio bases consta principalmente de enrutadores Litestation2 *2.4 GHz y antenas* Hyperlink HG2420P-120, la distancia máxima para los enlaces entre RB(LZR05) y las radio bases (LZR02), RB(LZR03), RB(LZR04), es con RB(LZR02), cuya distancia aproximada es 14.72Km. Entonces el router en RB(LZR05) debe ser configurado para esta distancia.

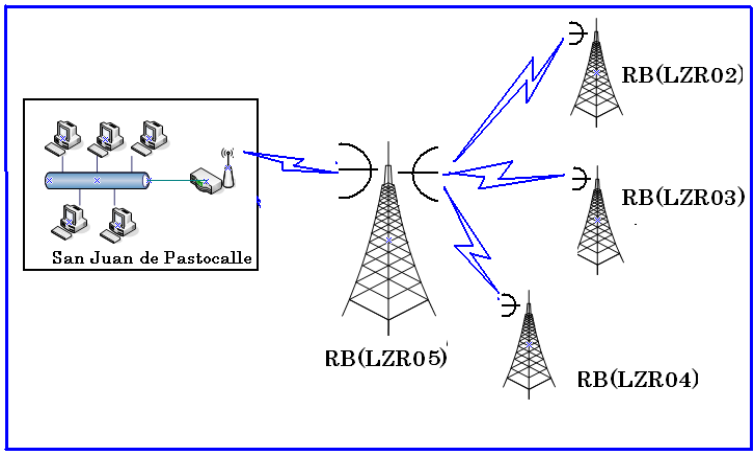


Figura 3.39: Subred San Juan de Pastocalle

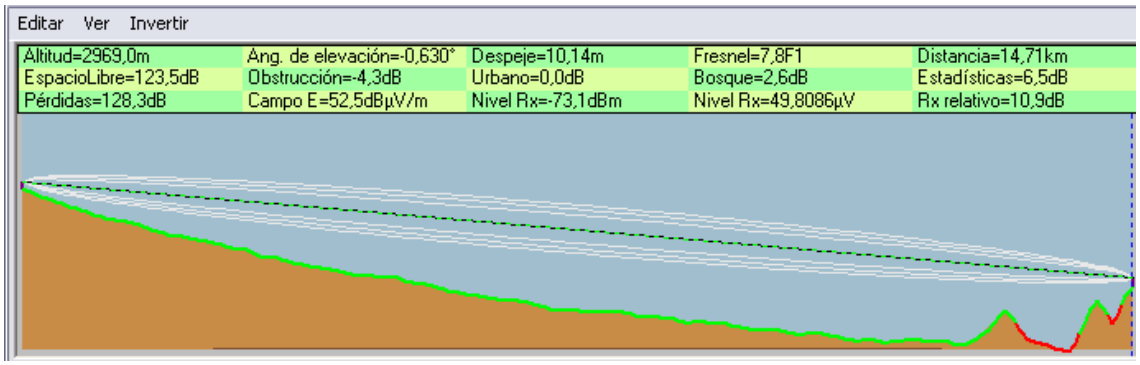


Figura 3.40: Enlace y perfil de terreno entre RB(LZR05) y RB(LZR02)

DATOS DEL ENLACE ENTRE RB(LZR05) y RB(LZR02)
La distancia entre RB(LZR05) y RB(LZR02) es 14,7 km (9,1 miles)
Azimut norte verdadero = 161,3°, Azimut Norte Magnético = 163,1°, Angulo de elevación = -0,6344°
Variación de altitud de 246,8 m
El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 3,3F1 a 0,4km
La frecuencia promedio es 2437,000 MHz
Espacio Libre = 123,5 dB, Obstrucción = -4,3 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 2,6 dB, Estadísticas = 6,5 dB
La pérdida de propagación total es 128,3 dB
Ganancia del sistema de RB(LZR05) a RB(LZR02) es de 142,3 dB (cardio.ant a 161,3° ganancia = 13,4 dB)
Ganancia del sistema de RB(LZR02) a RB(LZR05) es de 142,3 dB (cardio.ant a 341,3° ganancia = 19,9 dB)
Peor recepción es 13,9 dB sobre el señal requerida a encontrar
70,000% de situaciones

Tabla 3.19: Resultados obtenidos por el programa Radio Mobile para el enlace entre RB (LZR05) y RB (LZR02)

3.12.4.6 Subred Pasarela

Esta subred es la más importante de todas las subredes, ya que la radio base RB(Pasarela) estará conectada a un ISP (proveedor de servicios de Internet) con un ancho de banda de aproximadamente 2.96Mbps con una conexión ADSL, y a través de esta estación todas las demás subredes tendrán acceso a Internet. Esta subred consta de enlaces entre las estaciones repetidoras, RB(LZR01), RB(LZR02) y RB(LZR03), por lo cual se utilizara el router Litestation2 *2.4 GHz y antenas* Hyperlink HG2420P-120 para estos enlaces.

Para esta subred no se consideran los enlaces con RB (LZR04) y RB (LZR05) ya que son enlaces demasiado largos lo que afectaría el rendimiento de la red dada su distancia, a pesar de ello esta subred tiene tres enlaces posibles con RB(LZR01), RB(LZR02) y RB(LZR03) lo que cumple la condición de red Mesh.

Además para la conexión con el proveedor de Internet se utilizara el enrutador TRENDnet TW100-BRF114 que tiene características de administración de redes de forma local y remota.

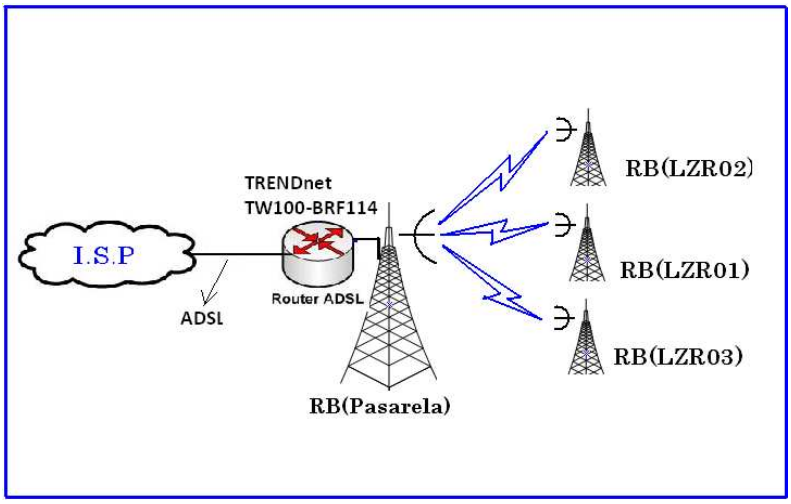


Figura 3:41: Subred Pasarela

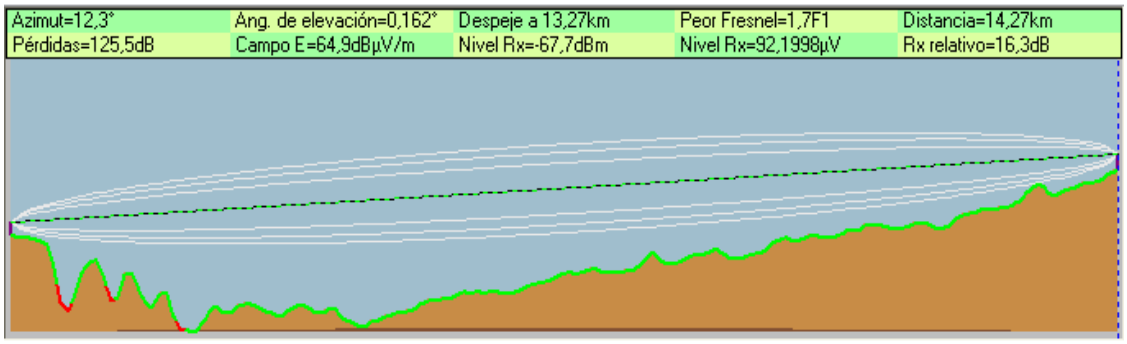


Figura 3.42: Enlace y perfil de terreno entre RB(Pasarela) y RB(LZR03)

DATOS DEL ENLACE ENTRE RB (Pasarela) y RB (LZR03)
La distancia entre RB(Pasarela) y RB(LZR03) es 14,3 km (8,9 miles)
Azimut norte verdadero = 12,3°, Azimut Norte Magnético = 14,1°, Angulo de elevación = 0,1619°
Variación de altitud de 135,7 m
El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 1,7F1 a 13,3km
La frecuencia promedio es 2437,000 MHz
Espacio Libre = 123,2 dB, Obstrucción = -4,2 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 6,5 dB
La pérdida de propagación total es 125,5 dB
Ganancia del sistema de RB(Pasarela) a RB(LZR03) es de 141,8 dB (cardio.ant a 12,3° ganancia = 20,0 dB)
Ganancia del sistema de RB(LZR03) a RB(Pasarela) es de 141,8 dB (cardio.ant a 192,3° ganancia = 12,8 dB)
Peor recepción es 16,3 dB sobre el señal requerida a encontrar
70,000% de situaciones

Tabla 3.20: Resultados obtenidos por el programa Radio Mobile para el enlace entre RB (Pasarela) y RB (LZR03)

En la figura 3.42 y Tabla 3.20 podemos observar las características del enlace más largo para esta subred en este caso entre RB(Pasarela) y RB(LZR03) y cómo podemos ver este enlace tiene la primera zona de fresnel sin ningún tipo de obstáculo y los parámetros del enlace son óptimos según la Tabla 3.20.

Finalmente luego de crear todas las subredes en Radio Mobile obtenemos la figura 3.43. Que muestra los enlaces entre estaciones repetidoras, así como las estaciones repetidoras con las parroquias.

Figura 3.43: Red WMNs para las parroquias rurales de Latacunga en la Provincia de Cotopaxi

3.13 SELECCIÓN DE SOFTWARE MESH PARA LOS DE EQUIPOS SELECCIONADOS

3.13.1 SOFTWARE RELACIONADO CON HARDWARE MESH

Mencionamos en forma breve una serie de distribuciones de Linux personalizadas, paquetes, colecciones de software de diferentes tipos que están destinados a hardware, para implementación de redes MESH.

MeshLinux

- Realizada por Elektra, Berlín/Alemania
- Basada en Slackware Linux,
- Señalada para ser utilizada en laptops.

Zebra/Quagga

- Realizado por Kunihiro Ishiguro
- GNU Zebra es un software libre que maneja protocolos de enrutamiento basados en TCP/IP parte del proyecto GNU Project.
- Protocolos Mesh incluidos: BGP4(Protocolo de enrutamiento exterior)

CUWin

- Realizado por Champaign Urbana community project.
- "El software CUWiN (redes inalámbricas de comunidad rural - urbana) es un sistema operativo completo para nodos mallados inalámbricos. Se comenzó con una distribución NetBSD[56] y se le añadió drivers inalámbricos, códigos de enrutamiento y sistemas especializados que permiten a los nodos trabajar en armonía para enrutar el tráfico de cada uno de los demás nodos".

Pebble

- Realizado por NYCWireless community.
- Está basado en Debían GNU/Linux.
- Corre en muchos tipos de sistemas por ser muy pequeño, como por ejemplo las máquinas 486.
- Protocolos Mesh incluidos: OSPF, (OLSR en versión Metrix)

OpenWRT

- OpenWrt es una distribución Linux para el WRT54GL, un firmware con la virtud de añadir paquetes, incluso se puede personalizar.

[56] *NetBSD* es un sistema operativo de la familia Unix (en sí no se le puede llamar "un Unix", ya que ésta es una marca comercial de AT&T, pero se denomina como "sistema de tipo UNIX" o "derivado de UNIX").

Dos sistemas de archivo, y una partición de solo lectura permiten una escritura más larga. Puede ser instalado en cualquier Linksys WRT54GL (versión 1.0 a 2.2), o WRT54GLs (versión 1.0y 1.1), o WAP54g (únicamente en la versión 2.0) o un dispositivo compatible para poner en funcionamiento un típico nodo OLSR rápida y fácilmente.

3.13.2 PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO

El objetivo es poner en operación el protocolo Pro-Activo OLSR para los enrutadores seleccionados para la red diseñada en este proyecto, este protocolo intercambia información entre nodos que hablen el mismo protocolo. Los nodos generan datos de control para determinar la calidad del enlace entre los diferentes nodos.

Corre en cualquiera de las siguientes plataformas:

- Linux PCs, Windows, Mac OSX[57], FreeBSD[58]
- OpenWRT[59]
- Simple de usar e implementar.
- Usado por Firmware.

Básicamente el “firmware” es una versión pre configurada y estable del OpenWRT con una interfaz web. Para configurar equipos de interconexión.

3.13.2.1 Implementación de Protocolo OSLR en el enrutador Linksys WRT54GLL

Para instalar el OpenWRT el que contiene el protocolo de enrutamiento OLSR se debe reinstalar el firmware del dispositivo. Para ello hay que conectarse por cable de red al enrutador, y acceder a él a través de la dirección 192.168.1.1.

Se accede a la ventana Firmware Upgrade ver figura 3.44 y se indica la ruta al archivo de instalación openwrt-WRT54GL-squashfs.bin, hay que indicar que este

[57] Mac OSXes el actual sistema operativo de la familia de ordenadores Macintosh.

[58] FreeBSD es un sistema operativo libre para computadoras basado en las CPU de arquitectura Intel, incluyendo procesadores 386, 486 (versiones SX y DX), y Pentium. También funciona en procesadores compatibles con Intel como AMD y Cyrix.

[59] OpenWRT es una distribución de GNU/Linux basada en firmware usada para dispositivos empotrados tales como routers.

archivo es el que contiene el protocolo de enrutamiento OLSR y que tiene que ser descargado previamente en la computadora[60].

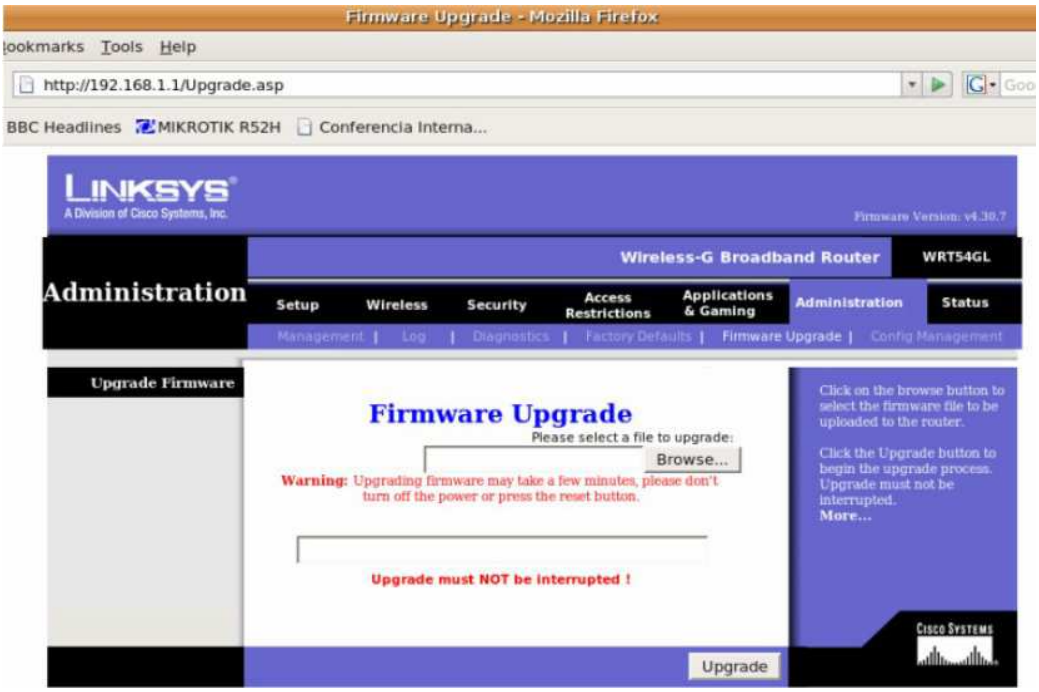


Figura 3.44: Ventana Firmware Upgrade en donde seleccionamos la ruta del nuevo Firmware que contiene el protocolo de enrutamiento OLSR.

3.13.2.2 Implementación de Protocolo OSLR en el enrutador LiteStation2 2.4GHz

Abra el explorador Web y escriba la dirección IP por defecto del dispositivo Litestation2 http://192.168.1.20 en el campo de dirección del navegador. Se le pedirá que introduzca las claves de acceso de administrador:

Nombre de usuario: **ubnt**

Contraseña: **ubnt**

Después de iniciar la sesión de administrador, verá la página principal (web de administración) de la estación.

Antes de instalar el protocolo OLSR en este equipo lo primero que se debería hacer es configurar las distancias máximas con que trabajarán estos equipos y automáticamente el equipo aumenta el tiempo de ACKtimeout de acuerdo a la

[60] http://downloads.openwrt.org/whiterussian/newest/micro/

distancia configurada por nosotros, esto ayuda aumentar significativamente el rendimiento de la red, para esto hacemos lo siguiente: Dentro de la página web de administración escoja la opción configuración avanzada de enlace (Advanced Link Setup).

La página de configuración avanzada del enlace le permite configurar el ACKtimeout.

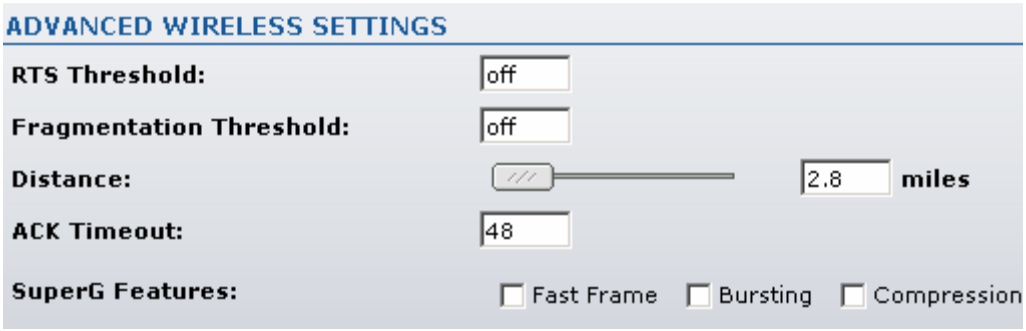


Figura 3.45: Ventana de configuración Avanzada de Enlace

Solamente hay que seleccionar la mayor distancia con la cual trabajará el enrutador, Hay que tomar en cuenta que para hacer las modificaciones de distancia tenemos que previamente hacer las equivalencias de kilómetros a millas ya que este equipo maneja como unidad de distancia la milla, seguidamente en administración escoja la opción sistema (System).

Haga clic en Firmware Upload para cargar el nuevo firmware que contiene el protocolo OLSR que puede ser descargado de: www.olsr.org.

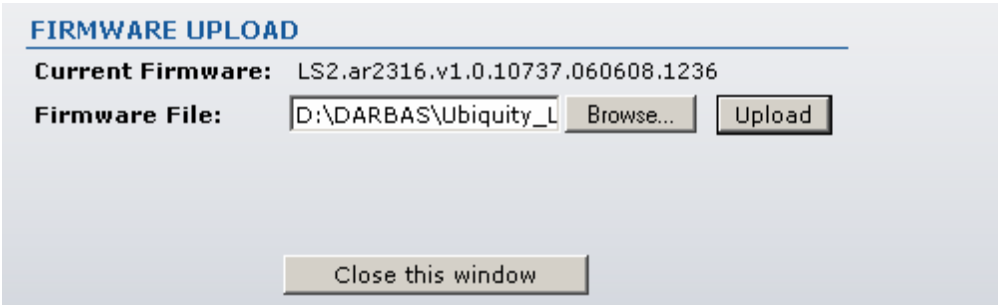


Figura 3.46: Ventana para descargar el nuevo software que tiene el protocolo OLSR

CAPITULO 4

4 PRESUPUESTO

4.1 INTRODUCCIÓN

En todo proyecto para su ejecución, el aspecto económico es un pilar fundamental, y como nuestro trabajo está orientado a brindar los servicios de telecomunicaciones a los sectores rurales del cantón Latacunga, entonces se transforma en un proyecto de carácter social es decir que podría ser ejecutado a través de una entidad estatal.

En este capítulo se dará un presupuesto referencial para la implementación, operación y mantenimiento de la red, dando un valor aproximado de la inversión inicial que se necesitará para poner en funcionamiento la red WMNs y mantenerla operando.

4.2 PRESUPUESTO PREVIO

Los estudios previos realizados durante la fase de la concepción o diseño, proporcionan un presupuesto que también denominamos *previo.* En él, se empiezan a valorar partidas con vistas de un primer acercamiento al costo real. Si este presupuesto es consecuencia de un estudio que enmarca los límites de la viabilidad del negocio, el margen de error del presupuesto referencial puede estar en el orden del 15%[61] respecto a lo que podría ser el presupuesto real. La mayor o menor bondad de esa apreciación depende fundamentalmente de la contingencia en el aumento o la disminución de precios, es decir, de la mayor o menor estabilidad de los mismos a lo largo del proceso. Esto significa que los resultados numéricos obtenidos en este capítulo será una estimación del costo del proyecto.

4.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS

De acuerdo con el diseño realizado en el capítulo 3, la red WMNs se estructura de la siguiente forma:

[61] MARCOS SERER FiGUEROA, Gestión Integrada de proyectos, 2001

La red troncal consiste de 6 estaciones base o repetidoras, de las cuales todas las estaciones bases requieren de la instalación de torres.

La red de acceso que distribuye el servicio a 9 planteles educativos distribuidos en 9 parroquias.

Entonces se hace necesario hacer una estimación de costos del proyecto dividiéndolo en varios grupos y estos se clasifican de la siguiente forma:

- Costos de Equipos
- Costos de Infraestructura
- Costos de Implementación
- Costos Totales estimados para la implementación de la red WMNs
- Costos de operación y mantenimiento

4.3.1 COSTOS DE EQUIPOS

En primer lugar vamos a determinar los costos de los equipos para los puntos de acceso y después los costos de los equipos para la red troncal. Debido a que en el mercado ecuatoriano aun no se comercializan los equipos con tecnología MESH; los costos de los equipos se encuentra en las páginas Web de los fabricantes así como en las páginas de venta de productos tecnológicos.

4.3.1.1 Costos de equipo de acceso

Cada parroquia rural tiene por lo menos un punto de acceso al servicio, vamos a calcular el costo de los equipos para cada una.

ALÁQUEZ			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador Linksys WRT54GL	87,8	1	87,8
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4

Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	202,68

Tabla 4.1a: Costos de equipos para Aláquez

GUAYTACAMA			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	1	150,7
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	265,58

Tabla 4.1b: Costos de equipos para Guaytacama

JOSEGUANGO BAJO			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador Linksys WRT54GL	87,8	1	87,8
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	202,68

Tabla 4.1c: Costos de equipos para Joseguango Bajo

MULALÓ			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	1	150,7
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	265,58

Tabla 4.1d: Costos de equipos para Mulaló

11 DE NOVIEMBRE			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador Linksys WRT54GL	87,8	1	87,8
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	202,68

Tabla 4.1e: Costos de equipos para 11 de Noviembre

POALÓ			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador Linksys WRT54GL	87,8	1	87,8
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	202,68

Tabla 4.1f: Costos de equipos para Poaló

SAN JUAN DE PASTOCALLE			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador Linksys WRT54GL	**150,7**	1	150,7
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	265,58

Tabla 4.1g: Costos de equipos para San Juan de Pastocalle

TANICUCHÍ			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	1	150,7
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	265,58

Tabla 4.1h: Costos de equipos para Tanicuchí

TOACASO			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	1	150,7
Antena omnidireccional de 12 dBi	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	4	4
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	265,58

Tabla 4.1i: Costos de equipos para Toacaso

Tabla 4.1: Costos de equipos para los puntos de acceso al servicio en cada parroquia rural

4.3.1.2 Costos de los equipos en las salas de informática

En nuestro diseño los puntos de acceso son los equipos que dan acceso a Internet a la red LAN de cada institución educativa y debido que en su mayoría los establecimientos educativos no cuentan con una sala de informática en condiciones apropiadas para su uso, presentamos una estimación de costos de los equipos necesarios para implementar un sala de informática moderna para cada una de ellas.

Además de las computadoras que se necesitan para cada sala de informática de cada establecimiento se debe considerar el equipo adicional para implementar los servicios de voz y video llamada por Internet, para esto necesitamos una estación de trabajo normal con una tarjeta de sonido configurada de forma adecuada, un micrófono, una Webcam y altavoces o auriculares.

Para determinar el número de computadoras que se requieren en cada institución educativa, nos basamos en el promedio de estudiantes por aula más un 30% de estudiantes que ocuparan para realizar servicios adicionales.

PARROQUIA	UNIDAD EDUCATIVA	NUMERO APROXIMADO DE COMPUTADORES POR ESTABLECIMEINTOS
Aláquez	Gonzalo Alban Rumazo	9
Guaytacama	San José	18
Joseguango Bajo	Félix Valencia	23
Mulaló	Juan Pió Montufar-Juan de Dios	39
11 De Noviembre	Luís Fernando Ruiz	16
Poaló	Poaló	10
S. Juan De Pastocalle	Pastocalle (Técnico Industrial)	25
Tanicuchí	Batalla de Panupali	47
Toacaso	Toacaso	30

Tabla 4.2: Número aproximado de computadores por establecimiento educativo

A continuación se detalla los equipos y elementos necesarios para la implementación de las salas de informática en cada establecimiento educativo de las parroquias rurales.

ALÁQUEZ			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB, Monitor LCD de 17”	550	9	4950
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	3	75
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	3	165
Switch TRENDnet de 16 puertos	112	1	112
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	135	62.1
RJ-45	0,2	30	6
Jack	1.25	9	11.25
		Total [US$]	5486,35

Tabla 4.3a: Costos de los equipos para la sala de informática en Aláquez

GUAYTACAMA			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	18	9900
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	5	125
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	5	275
Switch TRENDnet de 24 puertos	150	1	150
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	270	124,2
RJ-45	0,2	60	12
Jack	1.25	18	22,25
		Total [US$]	10713.45

Tabla 4.3b: Costos de los equipos para la sala de informática en Guaytacama

JOSEGUANGO BAJO			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	23	12650
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	7	175
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	7	385
Switch TRENDnet de 24 puertos	150	1	150
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	405	186,3
RJ-45	0,2	80	16
Jack	1.25	23	28,75
		Total [US$]	13696.05

Tabla 4.3c: Costos de los equipos para la sala de informática en Joseguango Bajo

MULALÓ			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	39	21450
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	12	300
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	12	660
Switch TRENDnet de 24 puertos	150	2	300
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	780	358,8
RJ-45	0,2	125	25
Jack	1.25	39	48,75
		Total [US$]	23247,55

Tabla 4.3d: Costos de los equipos para la sala de informática en Mulaló

11 DE NOVIEMBRE			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	16	8800
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	5	125
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	5	275
Switch TRENDnet de 24 puertos	150	1	150
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	240	110,4
RJ-45	0,2	55	11
Jack	1.25	16	20
		Total [US$]	9596,4

Tabla 4.3e: Costos de los equipos para la sala de informática en 11 de Noviembre

POALÓ			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	10	5500
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	3	75
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	3	165
Switch TRENDnet de 16 puertos	112	1	112
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	150	69
RJ-45	0,2	35	7
Jack	1.25	10	12,5
		Total [US$]	6045,5

Tabla 4.3f: Costos de los equipos para la sala de informática en Poaló

SAN JUAN DE PASTOCALLE			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	25	13750
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	8	200
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	8	440
Switch TRENDnet de 16 puertos	112	2	224
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	425	195,5
RJ-45	0,2	80	16
Jack	1.25	25	31,25
		Total [US$]	14961,75

Tabla 4.3g: Costos de los equipos para la sala de informática en San Juan de Pastocalle

TANICUCHÍ			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	47	25850
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	14	350
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	14	770
Switch TRENDnet de 24 puertos	150	2	300
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	940	432,4
RJ-45	0,2	150	30
Jack	1.25	47	58,75
		Total [US$]	27896,15

Tabla 4.3h: Costos de los equipos para la sala de informática en Tanicuchí

TOACASO			
Equipo	Precio Unitario [US$]	Cantidad	Subtotal [US$]
Computador: Intel Core Duo de 1.8GHz Disco duro 80 Gb, memoria RAM de 1GB Monitor LCD de 17”	550	30	16500
Auriculares con micrófono PLANTRONICS Cascos Audio 355	25	9	225
Webcam Genius Slim 2020af 2.0 Mp Zoom Auto Focus	55	9	495
Switch TRENDnet de 16 puertos	112	2	224
Rack de piso abierto	105	1	105
Cable UTP, 4 pares, Cat 6	0,46	450	207
RJ-45	0,2	100	20
Jack	1.25	30	37,5
		Total [US$]	17813,5

Tabla 4.3i: Costos de los equipos para la sala de informática en Toacaso

Tabla 4.3: Costos de los equipos para las salas de informática de las instituciones educativas

4.3.1.3 Costos de los equipos de la red troncal

Para determinar costos de los equipos de la red troncal, debemos tomar en cuenta el precio unitario estimado de cada equipo y la cantidad de unidades requeridas de cada uno.

REPETIDORA	COBERTURA
RB (LZR01)	Poaló,11 de Noviembre
RB (LZR02)	Aláquez
RB (LZR03)	Mulaló y Joseguango Bajo
RB (LZR04)	Guaytacama, Toacaso, Tanicuchí
RB (LZR04)	San Juan de Pastocalle
RB (Pasarela)	RB(LZR01), RB(LZR02), RB(LZR03)

Tabla 4.4: Ubicación de las repetidoras de la red WMNs y su cobertura

RB (LZR01)			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	1	150,7
Enrutador Linksys WRT54GL	87,8	1	87,8
Antena 120grados 20dBi a 2.4Ghz	399,95	1	399,95
Antena omnidireccional de 12 dBi a 2,4 GHz	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	2	2
Conector TNC hembra	3,15	2	6,3
Conector N macho	7,25	4	29
Conector N hembra	7,25	2	14,5
Protector de línea	25,99	2	51,98
		Total **[US$]**	802,22

Tabla 4.5a: Costos de equipos para RB (LZR01)

RB (LZR02)			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	1	150,7
Enrutador Linksys WRT54GL	87,8	1	87,8
Antena 120grados 20dBi a 2.4Ghz	399,95	1	399,95
Antena omnidireccional de 12 dBi a 2,4 GHz	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	2	2
Conector TNC hembra	3,15	2	6,3
Conector N macho	7,25	4	29
Conector N hembra	7,25	2	14,5
Protector de línea	25,99	2	51,98
		Total **[US$]**	802,22

Tabla 4.5b: Costos de equipos para RB (LZR02)

RB (LZR03)			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	2	301,4
Antena 180grados 15 dBi a 2.4Ghz	479,95	1	479,95
Antena omnidireccional de 12 dBi a 2,4 GHz	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	2	2
Conector TNC hembra	3,15	2	6,3
Conector N macho	7,25	4	29
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	911,88

Tabla 4.5c: Costos de equipos para RB (LZR03)

RB (LZR04)			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	2	301,4
Antena 180grados 15 dBi a 2.4Ghz	479,95	1	479,95
Antena omnidireccional de 12 dBi a 2,4 GHz	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	2	2
Conector TNC hembra	3,15	2	6,3
Conector N macho	7,25	4	29
Conector N hembra	7,25	2	14,5
Protector de línea	25,99	2	51,98
		Total **[US$]**	945,12

Tabla 4.5: Costos de equipos para RB (LZR04)

RB (LZR05)			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	**150,7**	1	150,7
Enrutador Linksys WRT54GL	87,8	1	87,8
Antena 180 grados 15 dBi a 2.4Ghz	479,95	1	479,95
Antena omnidireccional de 12 dBi a 2,4 GHz	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58	1	2	2
Conector TNC hembra	3,15	2	6,3
Conector N macho	7,25	4	29
Conector N hembra	7,25	2	14,5
Protector de línea	25,99	2	51,98
		Total **[US$]**	882,22

Tabla 4.5e: Costos de equipos para RB (LZR05)

PASARELA			
Equipo	**Precio Unitario [US$]**	**Cantidad**	**Subtotal [US$]**
Enrutador LiteStation2 2.4 GHz	150,7	1	150,7
Enrutador TRENDnet TW100-BRF114	255,6	1	255,6
Antena 120grados 20dBi a 2.4Ghz	399,95	1	399,95
Antena omnidireccional de 12 dBi a 2,4 GHz	59,99	1	59,99
Cable coaxial RG58 1 metro	1	1	1
Conector TNC hembra	3,15	1	3,15
Conector N macho	7,25	2	14,5
Conector N hembra	7,25	1	7,25
Protector de línea	25,99	1	25,99
		Total **[US$]**	918,13

Tabla 4.5f: Costos de equipos la estación Pasarela

Tabla 4.5: Costos de los equipos para las estaciones que forman parte de la red troncal

4.3.1.4 Costos Total de los Equipos

COSTO TOTAL DE LOS EQUIPOS		
Equipos para:		**Subtotal [US$]**
Puntos de acceso	Aláquez	202,68
	Guaytacama	265,58
	Joseguango Bajo	202,68
	Mulaló	265,58
	11 De Noviembre	202,68
	Poaló	202,68
	S. Juan De Pastocalle	265,58
	Tanicuchí	265,58
	Toacaso	265,58
Salas de informática	Aláquez	5486,35
	Guaytacama	10713,45
	Joseguango Bajo	13696,05
	Mulaló	23247,55
	11 De Noviembre	9596,4
	Poaló	6045,5
	S. Juan De Pastocalle	14961,75
	Tanicuchí	27896,15
	Toacaso	17813,5
Red de troncal	RB (LZR01)	802,22
	RB (LZR02)	802,22
	RB (LZR03)	911,88
	RB (LZR04)	945,12
	RB (LZR04)	882,22
	RB (Pasarela)	918,13
	TOTAL **[US$]**	136857,10

Tabla 4.7: Costo total de los equipos para la red WMNs.

4.3.2 COSTOS DE INFRAESTRUCTURA

Dentro de la infraestructura se considera los costos de torres, obras civiles, suministro de energía y protecciones, para la red troncal necesitaremos la construcción de obras civiles en todas ellas al igual que las torres, las torres tendrán una altura de 12 metros, la tabla 4.8 muestra los costos de infraestructura para la red troncal y la tabla 4.9 muestra los costos de infraestructura para los puntos de servicio en cada parroquia, en estos puntos de servicio no necesitamos mayor infraestructura salvo la colocación de un mástil con una altura máxima de 3

metros. La mayoría de estos costos fueron proporcionados por la empresa *POWER ELECTRO-MEC.*

COSTOS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA RED TRONCAL				
Ítem	**Descripción**	**Precio unitario**	**Número de unidades**	**Subtotal**
Torre	Torre de base triangular arriostradas (con tensores) con patas tubulares de 1.1/2" de diámetro. Peldaños en varilla redonda lisa de 3/8"; los tramos de 4 tramos de 3 metros cada uno = 12 metros.	2758,85	6	16553
Obra civil	Movimiento de tierras, construcción de la cimentación y base para la torre con hormigón armado	850	6	5100
Protecciones	Pararrayos con dispositivo de cebado. Marca: France Paratonnerres	578,75	6	3472,5
Regulador de carga	Tristar-6 Tristar-60 12/24/48V 60A20 12/24/48V 60A2	218	6	1308
Batería	ElectroE 5-2000 115ª-h3	157,78	6	946,68
Sistemas de puesta a tierra	Coperweld o Electrodos activos PEM- 03	1100	6	6600
Cajas herméticas	NEMA 4X hermética	17,15	13	222,95
			Total **[US$]**	34203,15

Tabla 4.8: Costos de infraestructura para la red troncal

COSTOS DE LA INFRAESTRUCTURA PARA LOS PUNTOS DE ACCESO AL SERVICIO				
Ítem	**Descripción**	**Precio unitario [US$]**	**número de unidades**	**Subtotal [US$]**
Mástiles 3m	Mástiles para sujeción de antenas	37,6	9	338,4
Cables de sujeción	Kit de cables de sujeción para mástil	15,76	9	141,84
Abrazaderas	Abrazadera mástil para antenas	3,3	9	29,7
			Total **[US$]**	509,94

Tabla 4.9: Costos de infraestructura para los puntos de acceso

COSTO TOTAL DE INFRAESTRUCTURA	
Red Troncal	34203,15
Puntos de Acceso	509,94
Total **[US$]**	34713,09

Tabla 4.10: Costo total de infraestructura de la red WMNs

4.3.3 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Estos costos de implementación se pueden dividir en dos grupos: el costo de la mano de obra y los equipos o herramientas necesarias.

4.3.3.1 Mano de Obra

Estos rubros corresponden a los honorarios del grupo de personas encargadas del diseño del sistema, así como del personal técnico calificado que pondrá en funcionamiento la red MESH.

Los honorarios del grupo de personas encargadas del diseño del sistema, conocido como servicio de ingeniería se determinan considerando los siguientes aspectos: El estudio de campo y verificación de infraestructura se valora de acuerdo a la dificultad de acceso al sitio, la altura del cerro y condiciones climáticas. El costo de diseño incluye: estudios de demanda, mapas, perfiles topográficos, esquemas, dimensionamiento, selección de equipos etc. De acuerdo a estos criterios y del estudio de campo realizado se sacaron las siguientes conclusiones: tanto la accesibilidad a los puntos de servicio como a radio bases no representan mayor dificultad por lo cual el estudio de campo no resulto complicado, el tiempo de diseño para esta red tardo aproximadamente 6 meses por lo cual el principal factor para determinar este rubro es el tiempo; si consideramos que se necesitan dos personas para realizar este proyecto con un sueldo promedio 700 dólares mensuales, lo que nos dará un valor total de 8400 dólares.

El tiempo que dos técnicos se demoren en configurar y probar los equipos no sobrepasará los dos meses, y el sueldo promedio mensual es de 500 dólares, por lo cual el valor de este rubro es de 2000 dólares.

COSTOS DE MANO DE OBRA	
Estudio de campo y diseño de la red	8400
Técnicos	2000
Total **[US$]**	10400

Tabla 4.8: Costo de mano de obra en la fase de implementación de la red

4.3.3.2 Equipos y herramientas

En la fase de ejecución de todo proyecto hay que tomar en cuenta los equipos o elementos adicionales que el personal necesita para realizar eficientemente su tarea y estos deben ser incluidos en los costos generales.

Dentro del equipo necesitamos el alquiler de un vehículo, en lo preferible una camioneta, ya que necesitaremos desplazar tanto equipos pesados como livianos y delicados. Para calcular el costo de este medio de transporte se tomo en cuenta la empresa *Budget Renta Car* el cual ofrece el alquiler de una camioneta a una tarifa de 248.22 dólares semanales. Otro elemento necesario es un GPS para determinar o ubicar el punto donde tiene que realizar la tarea asignada.

ELEMENTO	COSTO UNITARIO	NUMERO DE UNIDADES	SUBTOTAL [US$]
Camioneta	248,22	8	1985,76
Insumos para el vehículo	40	8	320
GPS (Magillan)	350	1	350
Herramientas e imprevistos	240	1	240
		Total [US$]	2895,76

Tabla 4.9: Costos de herramientas y equipo adicional para la fase de implementación de la red

4.3.3.3 Software y Licencias

El sistema operativo como el cual trabajara la red será Linux Red Hat 9.0[62] por lo cual los costos de licencias por este software son nulos, este sistema operativo puede ser descargado gratuitamente desde el Internet.

[62] Fuente: http://www.softonic.com/s/linux-red-hat-9.0:linux

Para implementar los servicios adicionales de llamadas y video llamadas por Internet se recomienda utilizar Skype ya que es un software muy versátil y amigable con el usuario, el cual nos permite realizar los servicios de llamadas, video llamada, video conferencia, chat. En forma gratuita.

Skype permite hacer llamadas a teléfonos móviles y fijos alrededor de 60 países del mundo, pagando un valor anual de 150**[US$]**.

Además de estos programas se necesita cambiar el software que vienen por defecto en los enrutadores utilizados para el diseño para que funcionen como nodos Mesh, este software al igual que los otros puede ser descargado del Internet sin ningún costo.

SOFWARE	DESCRIPCIÓN	COSTO [US$]
Red Hat Linux	Sistema operativo	0
Skype	Servicios de Voz y video llamadas entre conmutadoras con acceso a Internet	0
Firmware	Software para los enrutadores	0
	Total [US$]	0

Tabla 4.10: Costos de Software y Licencias

4.3.4 COSTOS TOTALES ESTIMADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED WMNs.

Para determinar los costos totales estimados, de la implementación de la red debemos tomar en consideración los costos obtenidos anteriormente.

ÍTEM	COSTO [US$]
Equipos	136601,51
Infraestructura	34695,94
Mano de obra	10400
Software y Licencias	0
Equipos y herramientas	2895,76
Homologación Equipos	350
Varios	250
Total [US$]	185193,21

Tabla 4.11: Costos totales para la implementación de la red WMNs.

4.3.5 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación y mantenimiento son los que se pagarán durante todo el tiempo de vida del sistema. Estos costos se generan mensualmente, considerando los siguientes:

- Pago mensual del servicio de Internet al ISP.
- Pago de salarios al personal.
- Transporte e insumos necesarios para realizar el mantenimiento y operación de la red.

4.3.5.1 Pago mensual del servicio de Internet

El sistema parte desde el ISP de la empresa AMOGHI S.A; que está ubicado en la calle Félix Valencia 743 y 2 de Mayo, en el cantón Latacunga, hasta nuestra estación Pasarela, que es la que nos dotará de conectividad final a Internet y los costos que la empresa ofrece se detallan a continuación.

Tecnología	Ancho de Banda Kbps	Costo Promedio Mensual Dólares	Costo Promedio Anual Dólares
ADSL	64/128	95	1140
ADSL	128/256	140	1680
SDSL	256/256	450	5400
Cable Módem	256	199	2388
XDLS	2048	1200	14400

Tabla 4.12: Tarifas de Internet

4.3.5.2 Autorización y uso de frecuencias

Debido a que la red va atrabajar en las frecuencias de 2.4 GHz que son bandas libres los rubros por este concepto es cero.

4.3.5.3 Pago de salarios al personal

Necesitamos contratar personal que esté constantemente monitoreando la red y dando el respectivo soporte a los usuarios, para eso necesitamos 2 técnicos, y un ingeniero.

PERSONAL	NÚMERO DE PERSONAL REQUERIDO	PAGO MESUALPOR PERSONAL	SUBTOTAL [US$]
Ingeniero	1	700	700
Técnicos	2	400	800
		Total [US$]	1500

Tabla 4.13: Salario del personal necesario para el mantenimiento y operación de la red

4.3.5.4 Transporte, oficina y suministros para operación y mantenimiento

Para la operación de la red se requiere instalar una oficina, la que se ubicará en el centro urbano de Latacunga por lo que se debe considerar un costo de suministros de oficina, adicionalmente un costo para el mantenimiento y operación del vehículo, ya que se deberá contar por lo menos con un medio de transporte para que facilite el desplazamiento al lugar que requiera mantenimiento o soporte técnico.

SUMINISTROS Y TRANSPORTE	VALOR MENSUAL [US$]
Servicios Básicos	80
Arriendo de la oficina	200
Papelería	10
Mantenimiento y operación de vehículo	150
Varios	200
Total [US$]	640

Tabla 4.14: Costos de suministros y transporte

4.4 FINANCIAMIENTO

Para financiar estos tipos de proyectos es importante contar con el apoyo de alguna organización, sea esta estatal o no, debido a que este es un proyecto de carácter social,

El FODETEL es una organización que está orientado a financiar proyectos sociales para el desarrollo de las telecomunicaciones en zonas rurales y esta entidad subsidia hasta un 90% del costo de la inversión, siempre y cuando cumpla con exactitud con los parámetros que se detallan a continuación.

Para obtener el financiamiento del FODETEL se necesita un representante legal que tenga convenios establecidos con esta entidad, la misma que establece acuerdos en los cuales se determina los derechos y obligaciones de cada parte para la realización de cada proyecto.

Todo proyecto que espere ser subsidiado por el FODETEL es evaluado en tres aspectos: técnico, económico y jurídico, para posteriormente ser enviado al CONATEL, quien en reunión del consejo acepta o no el apoyo del FODETEL al proyecto planteado, luego de aprobado, el FODETEL convoca a concurso público, dependiendo de la magnitud del proyecto éste se lo realiza en base a peticiones directas de ofertas a operadores y prestadores de servicios o realiza publicaciones en la prensa nacional e incluso internacional para determinar la mejor oferta y poder realizar dicho proyecto.

El porcentaje restante lo cubrirá el DIPEIB-C (Dirección Provincial de Educación Intercultural Bilingüe de Cotopaxi), la misma que ya tiene un convenio establecido con el FODETEL.

4.5 TARIFACIÓN

Desde que nació el proyecto, el principal objetivo fue dar servicio de comunicaciones a los sectores más necesitados en las áreas seleccionadas por lo que no se espera obtener rentabilidad alguna, pero sin embargo es necesario generar algún tipo de ingreso económico para que se cubra los gastos que genera la red para su mantenimiento y operación. Para lo cual es necesario tener una idea clara de cuáles son los gastos mensuales que genera la red por este concepto. Estos valores se pueden apreciar en la tabla 4.15

ÍTEM	SUBTOTAL [US$]
Pago del servicio de Internet	1757
Uso de de frecuencias	0
Pago del personal	1500
Transporte, oficina y suministros	440
Total [US$]	3697

Tabla 4.15: Costos de mantenimiento mensual y operación de la red

El costo total de mantenimiento y operación de la red necesariamente tendrá que ser cubierto por los usuarios de la red, estos usuarios serán los estudiantes de cada institución educativa que tendrá acceso en primera instancia a la red. La tabla 4.16 muestra el número de estudiantes de cada establecimiento que tendrá acceso a la red.

PARROQUIA	UNIDAD EDUCATIVA	NÚMERO DE ESTUDIANTES
Aláquez	Gonzalo Alban Rumazo	69
Guaytacama	San José	250
Joseguango Bajo	Félix Valencia	127
Mulaló	Juan Pió Montufar-	448
	Juan de Dios	
11 De Noviembre	Luís Fernando Ruiz	86
Poaló	Poaló	70
S. Juan De Pastocalle	Pastocalle	176
	(Técnico Industrial)	
Tanicuchí	Batalla de Panupali	648
Toacaso	Toacaso	298
	TOTAL	2172

Tabla 4.16: Número de estudiantes por establecimiento educativo

Entonces la tarifa que tiene que pagar cada estudiante por el uso de los servicios de Internet será:

$$T = \frac{\text{Gastos Totales de Implementaciòn y Mantenimiento}}{\text{Nùmero de Estudiantes que tendran acceso a la red}}$$

$$T = \frac{3697}{2172} = 1{,}7 \text{ [US\$]}$$

Donde:

T es la tarifa mensual aproximada por estudiante.

Para que los estudiantes paguen este valor hay que tomar las siguientes consideraciones.

- La tarifa de 1,7 dólares corresponde a un valor básico que el estudiante tiene que pagar por concepto de uso del Internet, aparte de los usos comunes de Internet, los estudiantes podrán acceder a los servicios , voz,

video llamadas, siempre y cuando la comunicación para estos servicios sea entre computadoras.

- De acuerdo al número de computadoras y estudiantes en cada institución, se ha estimado que los estudiantes en promedio tendrán acceso a la sala de informática un promedio de 10 horas al mes, por su aporte mensual.

- Además de los servicios mencionados anteriormente los estudiantes tienen la posibilidad de hacer llamadas desde el computador a teléfonos móviles o fijos de 60 países, pero para estos casos los usuarios deberán pagar una tarifa adicional, por ejemplo si un usuario llama a un teléfono fijo en Estados Unidos tendrá que pagar alrededor de 9 centavos de dólar por minuto.

CAPITULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El diseño de la red tiene como objetivo primordial dotar de acceso a la información a las áreas rurales del cantón Latacunga en la provincia de Cotopaxi. En primera instancia nuestro diseño cubre a un colegio o escuela de cada parroquia rural excepto la parroquia de Belisario Quevedo, pero si algún otro usuario o institución requiere del servicio de la red basta con colocar un nodo adicional con tecnología mesh para que acceda al servicio de la red WMNs.

- Uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la implementación de redes de comunicaciones en las áreas rurales es el factor económico, muchas veces los estudios costo-beneficio son negativos para las empresas u organizaciones que piensan implementar redes en estas áreas lo cual hace que el proyecto nunca se ejecute.

- Para el desarrollo de un proyecto el punto más importante que se debe tener en cuenta es identificar claramente las necesidades de los sectores en los cuales vamos a desarrollar dicho proyecto, esto se puede lograr teniendo un contacto directo con los involucrados para nuestro caso con los estudiantes de las áreas rurales del cantón Latacunga, con el fin de conocer sus necesidades en cuanto a comunicaciones se refiere y establecer un conjunto de actividades que presenten la mejor solución.

- Una de las características de las redes Mesh radica en su gran tolerancia a fallos cuando existe algún problema en la red. Por ejemplo si uno o más nodos salen de servicio, el protocolo de enrutamiento pueden re direccionar el flujo de información o otros nodos de la red.

- La facilidad de implementación de este tipo red, y una gran capacidad de ancho de banda hace que este tipo de red sea una solución prometedora para el futuro de las redes inalámbricas.

- Aunque teóricamente los nodos principales de las redes Mesh o nodos que forman la red troncal pueden tener una cierta movilidad. Para el diseño de red Mesh realizado en este proyecto la movilidad de los nodos es nula, debido a que se está empleando estándares IEEE802.11, que dado la gran distancia entre nodos requieren línea de vista, lo que significa que los nodos de la red troncal deben permanecer estáticos para que exista línea de vista permanente caso contrario el rendimiento de la red disminuiría.

- A pesar que en el mercado se encuentra ya a disposición equipos Mesh, es también posible modificar ciertos equipos inalámbricos para que trabajen como nodos Mesh. Esto se logra siempre y cuando su software interno sea modificable tal como se lo hizo con los equipos utilizados en el diseño de la red WMNs de este proyecto nos referimos a los equipos enrutador Linksys WRT54GL y el enrutador LiteStation2 2.4 GHz que mediante la modificación de su firmware se puede lograr que trabajen como equipos Mesh.

- Uno de los objetivos de utilizar los enrutadores Linksys WRT54GLL y el LiteStation2 2.4 GHz y adaptarlos a que trabajen como equipos mesh fue la reducción de costos. Frente a los costos de adquirir un equipos con tecnología mesh.

- Se puede construir redes WMNs utilizando productos básicos de hardware IEEE 802.11. Sin embargo, antes de que esas redes pueden llegar a ser parte de los principales despliegues, se deben resolver algunas cuestiones como son: seguridad, QoS y gestión de redes.

- Es importante consideran el rendimiento efectivo de la redes WIFI que puede ir del 50% al 70% cuando la red está operando en condiciones ideales, este rendimiento efectivo va disminuyendo proporcionalmente con la distancia razón por la cual algunos enlaces entre estaciones repetidoras no fueron tomados en cuenta para el diseño ya que afectarían directamente al rendimiento de la red

- El protocolo de enrutamiento, aplicado en el diseño es OLSR en la que cada nodo tiene su ruta establecida durante todo el tiempo de transmisión, lo que reduce el tiempo de procesamiento en cada nodo para transmitir la información hacia otro nodo de la red. Esto resulta muy útil para redes móviles densas y grandes. Cuanto más grande y densa sea una red mejor es la optimización que se consigue con este protocolo. OLSR utiliza un enrutamiento salto a salto, es decir, cada nodo utiliza su información local para enrutar los paquetes. OLSR además trabaja de manera distribuida sin ninguna entidad central. Este protocolo no requiere transmisiónes seguras de mensajes de control porque los mensajes son periódicos, y se pueden permitir algunas pérdidas. Tampoco necesita una recepción de mensajes secuencial, se utiliza números de secuencia incrementales para que el receptor sepa que información es más reciente. Además de las características descritas OLSR se está convirtiendo en el protocolo más utilizado para la implementación de redes Mesh.

- Es importante considerar la calidad de servicio en el diseño de la red, pues este permite a la red diferenciar entre diferentes flujos de tráfico, dándole prioridad a la voz y video sobre los datos, ya que la voz y el video no pueden soportar grandes pérdidas o retrasos en la transmisión. Mientras que los datos pueden soportar pérdidas pequeñas o retraso en la transmisión sin que se afecte notablemente su calidad, por su parte el aumento del retardo o pérdidas en las transmisiónes de voz y video hace que la respuesta de la red sea tan deficiente, convirtiéndola algunas veces en una red de baja calidad o incluso que esta no esté disponible en

determinados momentos, afectando de esta manera a los usuarios de la red.

- Es importante tener claro la gran ayuda que nos proporcionó la utilización de software Radio Mobile, su uso adecuado nos proporciona mapas topográficos digitales de las áreas en las cuales se va a realizar el diseño de la red y un sin número de posibilidades como son, gráficos de los perfiles de radio enlace, posibilidad de trabajar con los datos reales de los equipos que se piensa utilizar en la red, etc. Toda estas características hacen que Radio Mobile sea una herramienta muy útil para el diseño de redes inalámbricas a mas de ser un software de libre distribución que trabaja en Windows y Linux.

- Existe una estrecha relación entre las capas física, Mac, y los protocolos de encaminamiento, relación que se acentúa mas al emplear varios canales de radio que requieren de mayor coordinación entre las capas y nuevos mecanismos que se encargan de optimizar el uso del ancho de banda (antenas adaptivas, inteligente, etc.) y minimizar las interferencias.

- Gracias a la posibilidad de conectarse a distintos puntos de acceso en lugar de uno sólo, se aumenta el ancho de banda que puede tener cada cliente, también resulta mucho más estable ya que puede seguir funcionando aunque caiga un nodo.

- Como cualquier tecnología, hay asuntos y limitaciones en las redes Mesh, la mayoría basadas en escalabilidad y las dificultades de garantizar calidad de servicio. Son tópicos que no se resuelven completamente pero se siguen haciendo estudios para resolver estos problemas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer algún software de administración de red con la finalidad de tener un control más riguroso de la red, preferiblemente este software debería ser en sistema operativo Linux para eliminar los costos que se tendrían que pagar por concepto de licencias.

- Se recomienda aplicar políticas de manejo de la red en caso de ser implementada. Principalmente esta política deberá estar encaminada a entrenar al personal en el manejo de Linux. Ya que este proyecto al ser de carácter social se requiere el máximo ahorro de recursos, e implementado software libre se evitará correr con costos por concepto de licencias, el problema radica en que Linux no es un sistema operativo ampliamente utilizado en el Ecuador por lo que se requiere de capacitación al personal en el manejo de Linux.

- Se debe implementar Políticas de Seguridad, debido a que la tecnología Mesh permite que un equipo inalámbrico pueda tener acceso a la red sin mayor problema se hace necesario políticas de configuración de los equipos, políticas de acceso remoto, políticas de contraseñas, etc. Que son necesarios para reducir en la medida de lo posible el ingreso a la red de usuario no deseados.

- Se recomienda hacer un análisis de tráfico para este tipo de redes, ya que dicho análisis escapa del alcance de esta tesis, pero que sin embargo es importante realizar dicho análisis, pues este análisis permite tener una idea más clara del comportamiento de la red, y poder realizar modificaciones en el diseño antes que la red se implemente físicamente.

- Se recomienda hacer un estudio más profundo sobre la aplicación de los estándares IEEE802.11 a/b/g para enlaces de larga distancia, y determinar

más exhaustivamente cuales son las implicaciones que lleva aplicar este estándar para largas distancias, como son: rendimiento, colisiones etc.

- Las frecuencias de operación a las que trabaja la red diseñada en este proyecto utiliza un espectro de frecuencia sin licencia concretamente la de 2.4Ghz. y es perfectamente aplicable en entornos rurales ya que en estas zonas no existe el problema de interferencias de otros sistemas de comunicaciones que trabajen en el mismo rango de frecuencias, no es recomendable implementar este tipo de redes en zonas urbanas ya que en estas zonas el espectro de frecuencias de 2.4 GHz esta saturado lo que reduciría el rendimiento de la red

- Debido a que todavía la propuesta del estándar IEEE 802.11s, que es el estándar para redes Mesh, no esta todavía especificada, muchos fabricantes de equipos inalámbricos fabrican sus propios equipos inalámbricos Mesh lo que da como resultado que estos equipos en muchos casos no puedan interconectarse entre si, lo que origina que la red solamente dependa de un limitado número de fabricantes.

- A pesar de que la red diseñada trabaja en la banda de los 2.4Ghz y que en el estudio de campo se comprobó que no existen redes que trabajen en esta misma banda de frecuencias dentro de las áreas seleccionadas, lo que ayuda a mejorar el rendimiento de la red pues no existe interferencia de otras redes que empleen el mismo espectro de frecuencias. Sería recomendable la utilización de otra banda de frecuencia libre como la de 5Ghz y que además en esta banda se tiene la posibilidad de tener mayores velocidades de transmisión para estas frecuencias.

5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros:

- STALLINGS WILLIAM, “Comunicaciones y Redes de Computadoras”, Sexta Edición, Prentice Hall, España 2002.

- SCOTT KEAGY, “Integración de redes de voz y datos”, Editorial: Cisco Press, Madrid-España 2001.

- CREATIVE COMMONS, “Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo”, Tercera Edición, 2008.

- GRUPO DE TELECOMUNICACIONES RURALES PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, “Redes Inalámbricas para Zonas Rurales”, Primera Edición, Perú 2008.

- MARGARITA ACUÑA M Y RAFAEL RONCALLO K, “Redes Inalámbricas Malladas Metropolitanas”, Colombia 2007.

- HIDROBO JOSÉ MANUEL, ”Redes y servicios de Telecomunicaciones”, Segunda Edición, Editorial: Paraninfo, Madrid-España 2000.

- CARBALLAR JOSÉ, “Wi-Fi Como construir una red inalámbrica”, Segunda Edición, España 2004.

- GRUPO FIRETIDE, “Designing and Deploying Mesh Network Planning and Installing your Wireless Mesh”, Marzo 2008.

- D. GARCIA, J. PARADELLS, “Improving Performance of a Real Ad-Hoc Network by Tuning OLSR Parameters”, Colombia 2005.

- SHIH LIN, YU CHEE TSENG, “Ad Hoc Networking” EE UU 2007.

Tesis:

- JUAN PABLO QUINAPALLO MORALES, “Diseño de una red inalámbrica para interconectar la matriz de la cadena farmacias Pharmacy´s con sus diferentes sucursales ubicadas en la ciudad de Quito”, Agosto 2006.

- CAINA AYSABUCHA DARWIN RODOLFO, “Diseño de un telecentro comunitario para la unidad educativa San Juan de Ilumán, en la Provincia de Imbabura”, Quito 2006.

- CHARRO SIMBAÑA, FRANCISCO FAUSTO, “Estudio y diseño de una red LAN híbrida, utilizando las tecnologías WIMAX y WI-FI, para brindar servicios de video sobre IP e Internet de banda ancha incluyendo transmisión de voz y datos, en la Universidad Central del Ecuador”, Quito. 2006

- MEDINA GONZÁLES RUBEN DARIO, “Análisis de los parámetros de calidad y servicio (QoS) de las tecnologías inalámbricas WI-FI y WI-MAX su operación y su consideración en el diseño de una red de voz y datos para el teleférico Cruz Loma”, Quito 2006.

- KAREN F. MEDIAN, “Diseño y planificación de una red inalámbrica basada en los estándares IEEE 802.16 (WIMAX) y 802.11 (WIFI) para proveer de Internet de banda ancha a poblaciones de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe”, Quito 2006.

- VILLACÍS CONFORME ANDRÉS FERNANDO, “Diseño de un centro de provisión de servicio de Internet con acceso de última milla inalámbrico utilizando el estándar IEEE 802.11 para el parque industrial de la ciudad de Ambato”, Quito 2007.

Páginas Web:

- http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/Ns2_long_dist.tar.gz
- http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/RMW.doc
- http://usuario.cicese.mx/~luisvi/Protocolos/Clase-Mayo-14.pdf
- http://vapl.galeon.com/redes_inalambricas.htm
- www.cmu.edu/computing/wireless/. Junio, 2005, Universidad Carnegie-Mellon.
- www.cplus.org/rmw/
- www.locustworld.com
- www.meshnetworks.com
- www.olsr.org
- www.troposnetworks.com
- www.ubnt.com/downloads/ls5_datasheet.pdf
- www.wirelesssummit.org
- www.wilac.net/tricalcar
- www.uv.es/montanan/redes/trabajos/skype.pdf
- www.linux-magazine.es/issue/33

ANEXOS

ANEXO A: MAPAS DE LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTÓN LATACUNGA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.

ANEXO B: FORMATO DE LA ENCUESTA TOMADA EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTÓN LATACUNGA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.

ANEXO C: HOJAS DE DATOS Y MANUALES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LA RED MESH.

ANEXO D: GUÍA COMPLETA DE UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA RADIO MOBILE.