

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS ***ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS*** ***COMPUTACIONALES***

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

TEMA:

**“ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI
AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES”**

APLICATIVO:

**“PROYECTO PARA IMPLEMENTAR UNA RED MESH WIFI AUTONOMA EN LAS
ZONAS RURALES DE PIMAMPIRO”**

AUTOR:

Ximena de los Angeles Mendoza Colimba

DIRECTOR:

Ing. Jorge Caraguay

Ibarra – Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

La Señorita egresada Ximena de los Ángeles Mendoza Colimba ha trabajado en el desarrollo del **“ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES”**, con el Aplicativo de tesis **“PROYECTO PARA IMPLEMENTAR UNA RED MESH WIFI AUTONOMA EN LAS ZONAS RURALES DE PIMAMPIRO”**, previo a la obtención del Título de Ingeniera en Sistemas Computacionales, realizándolo con interés profesional y responsabilidad, lo cual certifico en honor a la verdad.

Ing. Jorge Caraguay
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mi madre por haberme dado la vida.
Por su lucha incansable, por sacar adelante a sus hijos,
Por todos los valores inculcados desde mi niñez,
Por sus consejos siempre oportunos,
Por estar siempre presente en mis tristezas y alegrías,
Pero, sobre todo, por el apoyo y cariño brindado durante toda mi vida

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la maravillosa familia y permitirme llegar a cumplir una meta más en mi vida.

A mis hermanos, por ser el ejemplo a seguir, por los consejos brindados y por su apoyo para hacer de mi, una excelente persona.

A Juan Carlos, por el apoyo incondicional brindado durante el desarrollo de mi tesis y por toda la experiencia que adquirí gracias a sus conocimientos pero sobre todo por creer en mí y no dejar de darme ánimos, para poder concluir con este sueño.

A mis amigos, quienes han formado parte de mi vida y me han apoyado en un determinado momento y que ahora siguen estando en mi corazón.

A todas las personas, que me han apoyado de una u otra forma me han brindado apoyo y han confiado en mis capacidades.

Al Ing. Jorge Caraguay, mi director de tesis, por el valioso tiempo dedicado y apoyo durante el desarrollo de la misma.

A la Universidad Técnica de Norte, por abrirme las puertas y formarme durante los años de mi carrera, en los cuales, no solo adquirí conocimientos, sino también consejos de parte de todos y cada uno de mis docentes, los cuales han sido la base para insertarme dentro del mundo laboral.

Tengo tanto que agradecer, se que este es sólo un logro más en mi vida para poder seguir esforzándome y llegar a concluir mi tan ansiado título y de esta forma poder sentir que los esfuerzos realizados por todas las personas que forman parte de mi vida no ha sido en vano.

Contenido

CERTIFICACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Onda de radio	1
1.2 Polarización.....	3
1.2.1 Tipos de Polarización	4
1.3 Espectro electromagnético.....	7
1.4 Ancho de Banda	11
1.5 Frecuencias y canales.....	12
1.6 Línea visual.....	12
1.7 Energía	14
Capítulo 2 Medios de Transmisión y Servicios Inalámbricos	15
2.1 Medio de Transmisión Guiados	16
2.1.1 Cable coaxial.....	16
2.1.2 Par trenzado	19
2.1.3 Fibra Óptica	23
2.2 Medios de Transmisión no Guiados.....	26
2.2.1 Microondas.....	26
2.2.2 Infrarrojos	30
2.3 GSM.....	32
2.4 CDMA	33
2.5 Sistemas de distribución de Microondas Multipunto (MMDS)	35
2.6 Características técnicas de MMDS.....	36
2.7 Wireless Local Loop (WLL)	38
2.8 WiFi	40
2.9 Bluetooth	41
Capítulo 3: Estándares IEEE 802.11 – WIFI.....	44
3.1 802.11a - Transmisión de Datos en la Banda de 5GHz a Alta Velocidad	44
3.2 802.11b - Transmisión de Datos en la Banda de 2.4GHz	48
3.3 802.11e - QoS - Calidad de Servicio	49
3.4 802.11g - Transmisión de Datos Adicional Banda 2.4 GHz	50
3.5 802.11h - Espectro y Potencia en Europa - Banda 5 GHz	53
3.6 802.11i - Mejoras en Seguridad WIFI (WPA/WPA2)	53
3.7 802.11k - Mediciones y Gestión de Radiofrecuencias en WIFI.....	55
3.8 802.11n - Transmisión de Datos - Altas Velocidades (MIMO)	56
3.9 802.11p - WAVE (WIFI en vehículos)	58
3.10 802.11r - Fast Roaming	58
3.11 802.11s - Redes Mesh / Wifi Municipal	60
3.12 802.11u - Internetworking con otras Redes	61
3.13 802.11v - Access Point, Gestión de Clientes (MIB)	62
3.14 802.11w - Seguridad de Paquetes de Management.....	62
Capítulo 4: Redes Mesh.....	64
4.1 Introducción a las redes inalámbricas	64
4.1.1 Tipos de redes inalámbricas	67

4.2 Capa PHY y MAC.....	70
4.3 Protocolos de encaminamiento.....	72
4.3.1 Protocolo de Ruteo de Redes Mesh B.A.T.M.A.N.	74
4.3.2 OPEN SHORTEST PATH FIRST (OSPF)	77
4.3.3 OSLR.....	79
4.3.4 MME (Mesh Made Easy)	80
4.3.5 TBRPF (Topología de difusión basada en Redirección inversa).....	82
4.3.6 HSLS Haz y estado de los vínculos con Deficiencia Visual	82
4.3.7 MMRP (Mobile Mesh Routing Protocol)	84
4.3.8 AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector).....	85
4.4 Escenarios de Aplicabilidad.....	87
Capítulo 5: Análisis de Mercado.....	90
5.1 Descripción del cantón Pimampiro.....	90
5.1.1 División Política.....	92
5.1.2 Características Demográficas	92
5.1.3 Economía	95
5.2 Encuesta y análisis de resultados.....	95
5.3 Conclusiones	104
Capítulo 6: Diseño de la Red Mesh para las zonas rurales de Pimampiro	105
6.1 Introducción.....	105
6.2 Visión general de la propuesta del diseño de la red WNS.....	105
6.3 Requisitos para el diseño de la red WMNS.....	106
6.3.1 Requisitos Generales	106
6.3.2 Requisitos Específicos.....	107
6.4 Descripción de la tecnología a emplearse en el diseño de la red WMNs.....	108
6.4.1 Redes WI-FI para largas distancias	108
6.4.2 Arquitectura Mesh para redes WI-FI para largas distancias	108
6.5 Enlaces WI-FI.....	110
6.5.1 El Cálculo de los enlaces	110
6.6 Software de Cálculo de enlaces	112
6.6.1 Radio Mobile.....	112
6.6.2 Instalando Radio Mobile.....	115
6.6.3 Guía de utilización del software radio Mobile	117
6.7 Estudio de Campo	120
6.7.1 Equipo utilizado en el estudio de Campo	120
6.7.2 Análisis de los resultados del estudio de Campo	122
6.8 Requerimientos de ancho de banda de la red WMNs	126
6.8.1 Requerimientos de tráfico para cada aplicación	126
6.9 Criterios para la planificación de frecuencias de la Red WMNs	130
6.10 Equipos para redes WMNs	130
6.10.1 Equipos Comunes para redes WMNs	130
6.10.2 Equipos específicos para la red WMNs en las parroquias rurales del cantón Pimampiro.	136
6.11 Diseño de la red WMNs con Radio Mobile	147
6.11.1 Descarga del Mapa	147
6.11.2 Ubicación de las unidades	149
6.11.3 Creación de sistemas	151
6.11.4 Análisis de los Enlaces de Radio	155

6.12 Selección de software Mesh para los equipos a utilizar	160
6.12.1 Software relacionado con hardware Mesh	160
6.13 Protocolo de Enrutamiento	161
6.14 Análisis comparativo de equipos mesh	194
6.14.1 Perspectiva Económica.....	195
6.14.2 Perspectiva Técnica	196
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	205
Conclusiones	205
Recomendaciones.....	207
GLOSARIO DE TÉRMINOS	208
REFERENCIAS.....	210
Anexo A	214
Anexo B	215
Anexo C	215
Anexo D.....	216
Anexo E.....	216
Anexo F.....	219

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Relación entre frecuencia, longitud de onda y amplitud	2
Fig. 2 Ondas de Radio	3
Fig. 3 Onda Electromagnética Polarizada.....	4
Fig. 4 Polarización Lineal	4
Fig. 5 Polarización Circular	5
Fig. 6 Polarización Elíptica	5
Fig. 7 Angulo Polarizador de Brewster	5
Fig. 8 Polarización por transmisión a través de varias superficies.....	6
Fig. 9 Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda con ejemplos, frecuencia y temperatura de emisión de cuerpo negro.	7
Fig. 10 El ancho de banda viene determinado por las frecuencias comprendidas entre f_1 y f_2	11
Fig. 11 Canales y frecuencias centrales para 802.11b.....	12
Fig. 12 Línea de Vista.....	13
Fig. 13 Línea de Vista cerca	13
Fig. 14 Sin Línea de Vista	13
Fig. 15 Zona de Fresnel.....	14
Fig. 16 Medios de Transmisión	15
Fig. 17 Cable Coaxial.....	16
Fig. 18 Cable Coaxial RG-58.....	19
Fig. 19 Cable de Par Trenzado	19
Fig. 20 Cable STP	20
Fig. 21 Cable FTP	20
Fig. 22 Normas 568A/568B	22
Fig. 23 a) Sección longitudinal de una fibra óptica. b) Conectores de fibra óptica.....	24
Fig. 24 Fibra Multimodo	24
Fig. 25 Fibra Monomodo	25
Fig. 26 Antenas Microondas.....	27
Fig. 27 Microondas por Satélite	29
Fig. 28 Clasificación de la Órbita de un satélite	30
Fig. 29 Sistema Infrarrojo	31
Fig. 30 Estación Base de GSM.....	33
Fig. 31 Sistema MMDS.....	35
Fig. 32 Conexión MMDS.....	36
Fig. 33 Tecnología WLL.....	38
Fig. 34 Tecnología WIFI	41
Fig. 35 Servicio Bluetooth.....	42
Fig. 36 IEEE 802.11 a.....	45
Fig. 37 Potencia y Frecuencias en IEEE 802.11a.....	45
Fig. 38 Esquema de modulación OFDM	46
Fig. 39 Conexión utilizando IEEE 802.11b	48
Fig. 40 Componentes IEEE 802.11i.....	54
Fig. 41 Formato CCMP MPDU	55
Fig. 42 Formato CCMP CBC-MAC IV	55
Fig. 43 IEEE 802.11n	56
Fig. 44 Matriz Protocolo MIMO.....	57
Fig. 45 IEEE 802.11r	58
Fig. 46 En una red de malla, hay rutas redundantes.....	60

Fig. 47 IEEE 802.11u	61
Fig. 48 Wireless de Corta Distancia	65
Fig. 49 Wireless Larga Distancia	65
Fig. 50 Redes de área extensa Inalámbrica WWAN	68
Fig. 51 Redes WMAN	68
Fig. 52 Redes WLAN	69
Fig. 53 Redes WPAN	70
Fig. 54 Protocolo B.A.T.M.A.N	75
Fig. 55 Redes con OSPF	77
Fig. 56 Paquete OSPF.....	78
Fig. 57 Redes de Datos para Seguridad	88
Fig. 58 Redes Públicas Municipales.....	89
Fig. 59 Comunicaciones Inalámbricas en Puertos y marinas	89
Fig. 60 Solución Mesh con Equipos Mikrotik	106
Fig. 61 Arquitectura de red Mesh con tecnología WIFI.....	109
Fig. 62 Nivel de Señal	111
Fig. 63 Ventana Principal Radio Mobile	113
Fig. 64 Estructura de Radio Mobile	116
Fig. 65 Mapa Físico y Político de Pimampiro.....	121
Fig. 66 GPS 60.....	121
Fig. 67 Parroquia Chugá	123
Fig. 68 Área de Cobertura	125
Fig. 69 Imágenes de Chugá y Mariano Acosta.....	125
Fig. 70 Crecimiento de Usuarios Anual	126
Fig. 71 Red mesh con Teletronics.....	132
Fig. 72 EZMesh Full-Duplex	132
Fig. 73 Red Mesh con Motorola	133
Fig. 74 Mikrotik 433 AH.....	135
Fig. 75 Nanostation 2.4	136
Fig. 76 Antena HG2415U-PRO	137
Fig. 77 Patrones de antena RF.....	139
Fig. 78 Esquema de Conexión	140
Fig. 79 Conexión Nodo Principal y Estación Cliente	141
Fig. 80Antena Hyperlink	142
Fig. 81 Backbone Principal.....	144
Fig. 82 Antena Hypelink.....	145
Fig. 83 Mapa de Pimampiro	147
Fig. 84 Propiedades del Mapa en Radio Mobile.....	148
Fig. 85 Coordenadas del Mapa	148
Fig. 86 Radio Mobile Ingreso de Unidades.....	150
Fig. 87 Coordenadas Nodo Pimampiro	150
Fig. 88 Unidades.....	151
Fig. 89 File > Networks properties > Systems. Parámetros de la red Mesh.....	152
Fig. 90 Antena Yagui.....	153
Fig. 91 Sistema Backhaul	154
Fig. 92 Antena Omnidireccional	154
Fig. 93 Radio Enlace Pimampiro - Chugá.....	155
Fig. 94 Radio Enlace View--> Distribution	156

Fig. 95 Radio Enlace Pimampiro - Mariano Acosta	156
Fig. 96 Radio Enlace View --> Distrubition	157
Fig. 97 Radio Enlace Chugá - Mariano Acosta	157
Fig. 98 Radio Enlace View --> Distribution	158
Fig. 99 Radio Link CPimampiro – Cchugá	158
Fig. 100 Radio Enlace CPimampiro - CChugá.....	159
Fig. 101 Radio Enlace CChugá - CMariano Acosta.....	159
Fig. 102 Enlace Mesh Pimampiro - Chugá - Mariano Acosta	160
Fig. 103 Interfaz Winbox	164
Fig. 104 Macs Encontradas.....	164
Fig. 105 Interfaz al Ingresar a un equipo.....	165
Fig. 106 System --> Identity.....	165
Fig. 107 Interfaz Wireless.....	166
Fig. 108 Interfaz Wlan	167
Fig. 109 Definición de Parámetros wlan1	167
Fig. 110 Interfaz WDS.....	168
Fig. 111 Interfaz Wlan Pimampiro Habilitada	168
Fig. 112 Interfaz para agregar WDS.....	169
Fig. 113 WDS Chugá	169
Fig. 114 Configuración WDS Mariano Acosta.....	170
Fig. 115 Interfaz Wlan1 Chugá	170
Fig. 116 Configuración wlan1 Wireless Chugá	171
Fig. 117 Configuración wlan Chugá WDS	171
Fig. 118 Menú --> WDS CHUGÁ.....	172
Fig. 119 WDS Pimampiro.....	172
Fig. 120 Configuración WDS Mariano Acosta.....	173
Fig. 121 Interfaz wlan Mariano Acosta.....	173
Fig. 122 Interfaz wlan Mariano Acosta - Wireless.....	174
Fig. 123 Interfaz wlan Mariano Acosta WDS.....	174
Fig. 124 WDS Pimampiro.....	175
Fig. 125 WDS Chugá	175
Fig. 126 Radio Chugá wlan1	176
Fig. 127 Interfaz WDS Chugá.....	176
Fig. 128 WDS Registradas en Mariano Acosta	177
Fig. 129 WDS Registradas en Chugá.....	177
Fig. 130 WDS Registradas en Pimampiro	178
Fig. 131 Configuración Wireless Pimampiro	179
Fig. 132 Configuración Wireless WDS	179
Fig. 133 wlan1 Pimampiro Habilitada	180
Fig. 134 wlan1 Chugá Wireless.....	180
Fig. 135 wlan1 Chugá Configuración WDS	181
Fig. 136 wlan1 Mariano Acosta Configuración Wireless.....	181
Fig. 137 wlan1 Mariano Acosta Configuración WDS.....	182
Fig. 138 Menú de la Radio Mikrotik Pimampiro.....	182
Fig. 139 Interfaz Mesh.....	183
Fig. 140 Interfaz Mesh Definición de Parámetros.....	183
Fig. 141 IP --> Addresses	184
Fig. 142 Configuración Ip para LAN.....	185

Fig. 143 Ip para Nat	185
Fig. 144 Menú para ingresar a Routes	186
Fig. 145 Interfaz Route List.....	186
Fig. 146 Interfaz Configuración Route.....	187
Fig. 147 Mikrotik Pimampiro Menu - Dhcp Server.....	187
Fig. 148 Interfaz DHCP Server Setup	188
Fig. 149 Ip para DHCP	188
Fig. 150 Gateway para la Red Mesh.....	188
Fig. 151 Ips Disponibles para DHCP.....	189
Fig. 152 Configuración DNS Server.....	189
Fig. 153 Configuración Tiempo de Concesión	189
Fig. 154 Mikrotik Pimampiro Menú DNS.....	190
Fig. 155 Interfaz DNS.....	190
Fig. 156 Mikrotik Pimampiro Menú IP --> Firewall	191
Fig. 157 Configuración NAT	191
Fig. 158 Configuración de la acción NAT	192
Fig. 159 Verificación Red Mesh	192
Fig. 160 Paneles Solares	193
Fig. 161 RouterBoard 433AH.....	219
Fig. 162 Tarjeta R52hn	220

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias RF	8
Tabla 2 Normas IEEE 802.3	18
Tabla 3 Especificaciones TSB-36.....	23
Tabla 4 Componentes de Conexión Microondas	30
Tabla 5 Parroquias de Pimampiro	90
Tabla 6 Comunidades y Barrios de Pimampiro	91
Tabla 7 Total Poblacional Pimampiro.....	93
Tabla 8 Perdida de Cables y Conectores	112
Tabla 9 Población Cantonal por grupos de edad de Pimampiro.....	128
Tabla 10 Características Mikrotik	135
Tabla 11 Especificaciones Técnicas Nanostation	137
Tabla 12 Especificaciones Técnicas HG2415U_PRO.....	138
Tabla 13 Especificaciones Mecánicas HG2415U	138
Tabla 14 Especificaciones Técnicas	143
Tabla 15 Especificaciones Eléctricas.....	146
Tabla 16 Especificaciones Mecánicas.....	146
Tabla 17 Ubicación de las unidades	149
Tabla 18 Datos Técnicos Antena Hyperlink	152
Tabla 19 Datos Antena Hyperlink 2.4 GHz	153
Tabla 20 Tabla de Enrutamiento	162
Tabla 21 Costo Paneles Solares	194
Tabla 22 Características Equipos.....	197
Tabla 23 RG	214
Tabla 24 Frecuencias IEEE 802.11a	216
Tabla 25 Frecuencias IEEE 802.11b/g.....	216

Resumen

Contar con el servicio de internet ya no se considera un lujo, sino más bien una necesidad del ser humano, no sólo por la gran cantidad de información que la web abarca sino por lo que esto representa, tanto para las empresas, como para instituciones públicas y privadas.

Sin embargo a pesar de esto, existen lugares en donde el acceso a internet no es posible ya que por lo general no representa un beneficio para los proveedores el brindarlo, pero se podría considerar parte del desarrollo social, que inclusive en la nueva ley del COOTAD, determina que todos los Gobiernos Autónomos Descentralizados están en la obligación de dotar de infraestructura y servicios para el desarrollo y transferencia tecnológica a la comunidad.

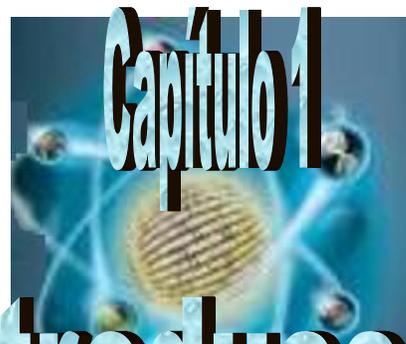
EL ESTUDIO, ANALISIS E IMPLEMENTACION DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES, es parte de la solución para el acceso al servicio de internet en las zonas rurales, y en particular en el Cantón Pimampiro, en las cuales es escaso y en muchos casos no existe.

El objetivo de este estudio, es establecer una posible implementación para una red mesh en las zonas rurales de Pimampiro con la cual, no sólo se ofrezca el servicio de internet sino que puedan acceder a los múltiples beneficios que esta red representa mediante la utilización de determinados servicios.

SUMMARY

Having the internet service is no longer considered a luxury, but a human need, not only by the large amount of information that the website includes but what it represents for both companies and for public institutions and private.

However despite this, there are places where internet access is not possible because usually not a benefit for suppliers to provide it, but could be considered part of social development, including the new law COOTAD, determines that all autonomous governments are obliged to provide infrastructure and services development and technology transfer to the community. THE STUDY, ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS WIFI MESH NETWORKS FOR RURAL AREAS, is part of the solution for access to internet service in rural areas, particularly in the Canton Pimampiro, where it is scarce and in many cases exists. The aim of this study is to establish a possible implementation for a mesh network in rural areas Pimampiro with which not only provide the internet service but can access the multiple benefits that this network is determined using services.



Introducción



Capítulo 1: Introducción

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de largas distancias. Desde la perspectiva del usuario, las conexiones inalámbricas no son particularmente diferentes de cualquier otra conexión: el navegador web, el correo electrónico y otras aplicaciones funcionan como se esperaba. Pero las ondas de radio tienen algunas propiedades inesperadas en comparación con una red cableada Ethernet. Las cuales se analizarán dentro de este capítulo.

1.1 Onda de radio

Una onda es una perturbación de alguna propiedad de un medio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, que se propaga a través del espacio transportando energía. El medio perturbado puede ser de naturaleza diversa como aire, agua, un trozo de metal o el espacio.

La propiedad del medio en la que se observa la particularidad se expresa como una función tanto de la posición como del tiempo. [1]

Ondas electromagnéticas: las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio; pudiendo, por tanto, propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico¹ en relación con un campo magnético² asociado.

Una onda tiene cierta velocidad, frecuencia y longitud. Las mismas están enlazadas por una simple relación:

$$\text{Velocidad} = \text{Frecuencia} * \text{Longitud de Onda} \quad \text{EC. 1}$$

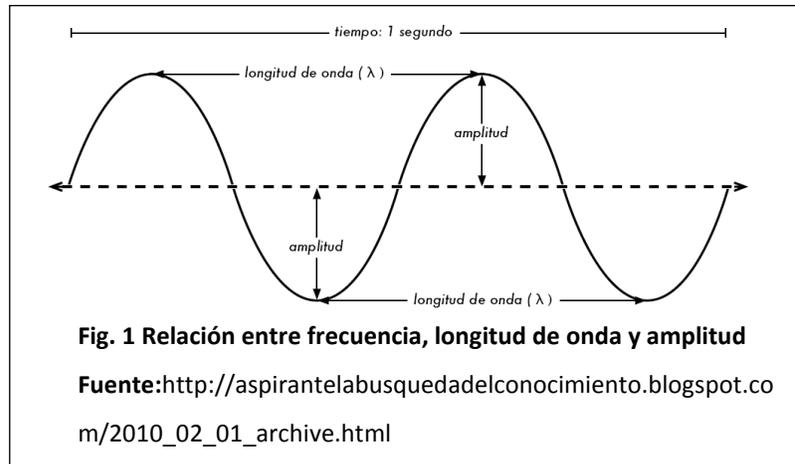
La longitud de onda (algunas veces denotada como lambda, λ) es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, por ejemplo desde la cima de un pico hasta el siguiente.

La frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo. La velocidad se mide en metros/segundo, la frecuencia en ciclos por segundo (o Hertz, o Hz), y la longitud de onda en metros.

¹ **Campo eléctrico.** Es un campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas (la causa del flujo eléctrico) y se mide en Voltios por metro (V/m). El flujo decrece con la distancia a la fuente que provoca el campo.

² **Campo magnético.** Es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas (flujo de la electricidad).

Las ondas también tienen una propiedad denominada amplitud. Esta es la distancia desde el centro de la onda hasta el extremo de uno de sus picos, y puede ser asimilada a la "altura" de una onda de agua. En la presente figura se plasma los conceptos anteriormente descritos.



La Amplitud: Cuando se mantiene tensa una cuerda que está sujeta por el otro extremo, esta cuerda está en equilibrio. Al comunicar un impulso, se produce una onda, porque se origina una separación en la parte que está más próxima a las manos. La separación entre su posición de equilibrio y su máxima altura es la amplitud (A).

Hay ondas que no necesitan un medio material para propagarse (agua, cuerda, resorte) y se propagan con facilidad, tal es el caso de las ondas electromagnéticas. Sin embargo, las ondas electromagnéticas se desplazan gracias al desplazamiento de dos cambios a la vez, el campo eléctrico y el campo magnético. Este tipo de onda electromagnética es la que utilizan las estaciones de radio y televisión.

Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética, tiene una longitud de onda mayor que la luz visible.

Las ondas de radio tienen longitudes que van desde unos cuantos milímetros, y pueden llegar a ser tan extensas que alcanzan cientos de kilómetros. En comparación, la luz visible tiene longitudes de onda en el rango de 400 a 700 nanómetros, aproximadamente 5 000 menos que la longitud de onda de las ondas de radio. Las ondas de radio oscilan en frecuencias entre unos cuantos kilohertz (kHz o miles de hertz) y unos cuantos terahertz (THz o 10^{12} hertz). La radiación "infrarroja lejana" (IR), sigue las ondas de radio en el espectro electromagnético, los IR lejanos tienen un poco más de energía y menor longitud de onda que las de radio.

La mayoría de las ondas de radio pasan libremente a través de la atmósfera de la Tierra. Sin embargo, algunas frecuencias pueden ser reflejadas o absorbidas por las partículas cargadas de la ionosfera³.

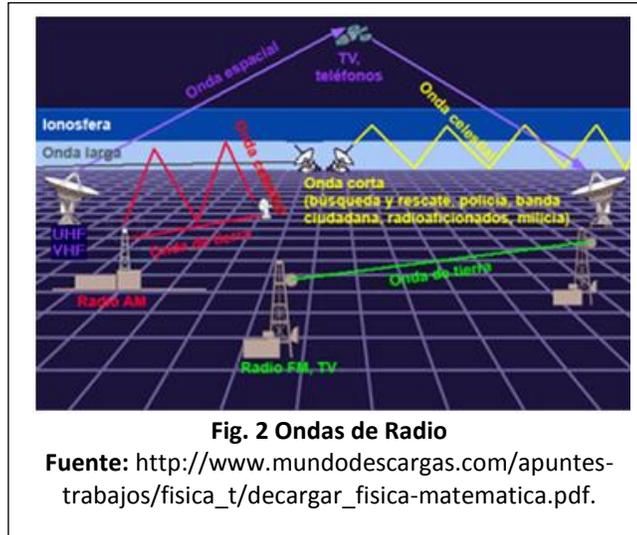


Fig. 2 Ondas de Radio

Fuente: http://www.mundodescargas.com/apuntes-trabajos/fisica_t/decargar_fisica-matematica.pdf.

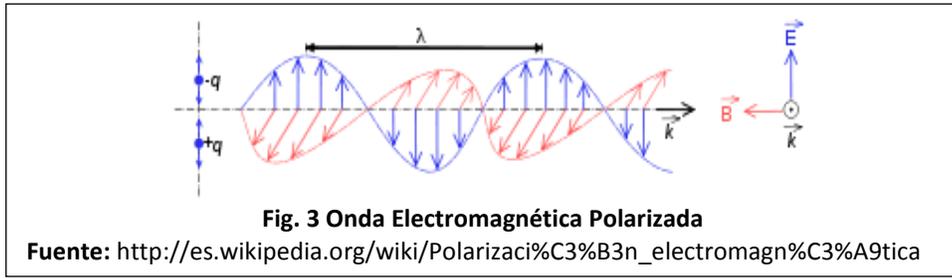
1.2 Polarización

La polarización electromagnética es un fenómeno que puede producirse en las ondas electromagnéticas, como la luz, por el cual el campo eléctrico oscila sólo en un plano, denominado plano de polarización. Este plano puede definirse por dos vectores, uno de ellos paralelo a la dirección de propagación de la onda y otro perpendicular a esa misma dirección el cual indica la dirección del campo eléctrico. [2]

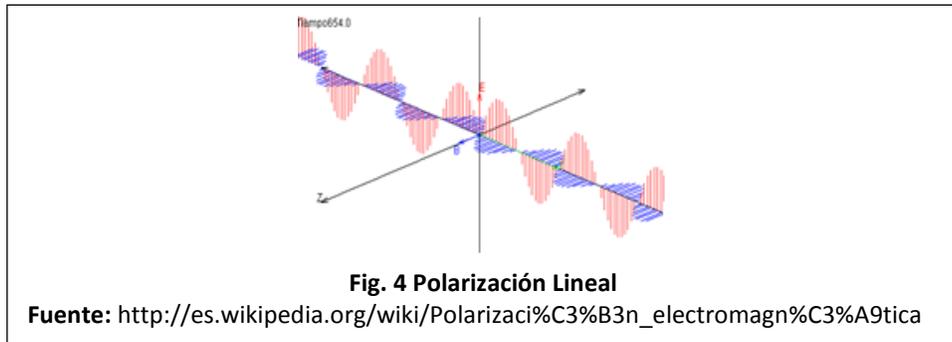
En una onda electromagnética NO polarizada, al igual que en cualquier otro tipo de onda transversal sin polarizar, el campo eléctrico oscila en todas las direcciones normales a la dirección de propagación de la onda. Las ondas longitudinales, como las ondas sonoras, no pueden ser polarizadas porque su oscilación se produce en la misma dirección que su propagación.

En una onda electromagnética polarizada las oscilaciones del campo eléctrico sólo se producen en un plano del espacio, son perpendiculares a las oscilaciones del campo magnético, y ambas son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

³ **La ionosfera.**- Es la parte de la atmósfera terrestre ionizada permanentemente debido a la fotoionización que provoca la radiación solar. Se sitúa entre la mesosfera y la exosfera, y en promedio se extiende aproximadamente entre los 85 km y los 700 km de altitud.



1.2.1 Tipos de Polarización

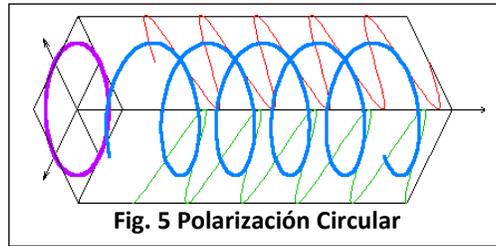


Polarización Lineal - Cuando el campo eléctrico oscila en el plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Normalmente, la polarización es sólo parcial y se define como: La razón entre la radiación polarizada y la no polarizada. La polarización parcial de un láser polarizado es normalmente de 1:500.

Grado de polarización - Se define con la máxima intensidad (I_{max}) transmitida a través del polarizador y la mínima intensidad (I_{min}), mediante la relación:

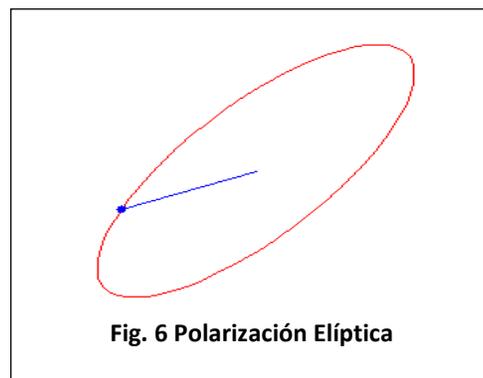
$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad \text{EC. 2}$$

Polarización Circular - Se produce cuando la intensidad del vector de campo eléctrico es constante, pero la dirección de oscilación está rotando a una velocidad constante. No hay preferencia por una dirección específica de oscilación. Tomando en cuenta a la dirección de rotación del vector campo eléctrico desde la dirección en la que el haz se propaga, si esta dirección es en el sentido de las agujas del reloj, se trata de polarización circular derecha. Si esta dirección es en sentido contrario al de las agujas del reloj, se conoce como polarización circular izquierda.

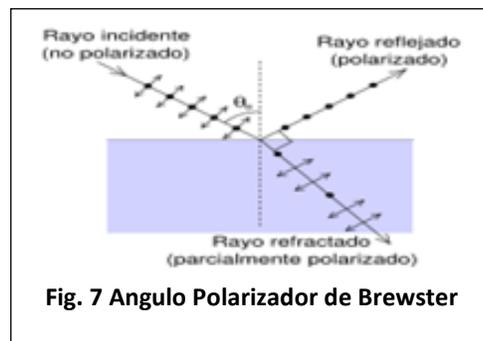


Entre estos dos casos extremos de polarización: polarización plana y polarización circular, hay muchos estados intermedios de polarización elíptica.

Polarización elíptica - La intensidad del vector de campo eléctrico no es la misma en diferentes direcciones de oscilación. El extremo del vector de campo eléctrico describe una elipse.



Polarización por reflexión – Cuando la luz ordinaria sin polarizar incide a un ángulo de 570° sobre la superficie pulida de una placa de vidrio, la luz reflejada es polarizada plana. Este hecho fue descubierto primero por Etienne Malus, un físico francés, en 1808. [3]



En general, para cada material hay un ángulo especial, llamado ángulo de polarización, donde sólo la luz polarizada en el plano perpendicular al plano del haz tiene componente reflejada. Entonces, en el ángulo de polarización el haz reflejado es 100% linealmente polarizado. La componente transmitida en el otro medio, incluye todas las componentes polarizadas paralelas y algunas perpendiculares al plano del haz. Por lo tanto, el haz transmitido está parcialmente polarizado. Cuando el haz que incide,

lo hace con el ángulo de polarización, el haz reflejado es perpendicular al haz transmitido. Por lo tanto el ángulo de refracción q_P es el ángulo complementario al ángulo de polarización q_B :

$$\text{Sen } q_B = \text{cos } q_P \quad \text{EC. 3}$$

Utilizando la ley de Snell⁴:

$$n_1 * \text{sen } q_B = n_2 * \text{sen } q_P \quad \text{EC. 4}$$

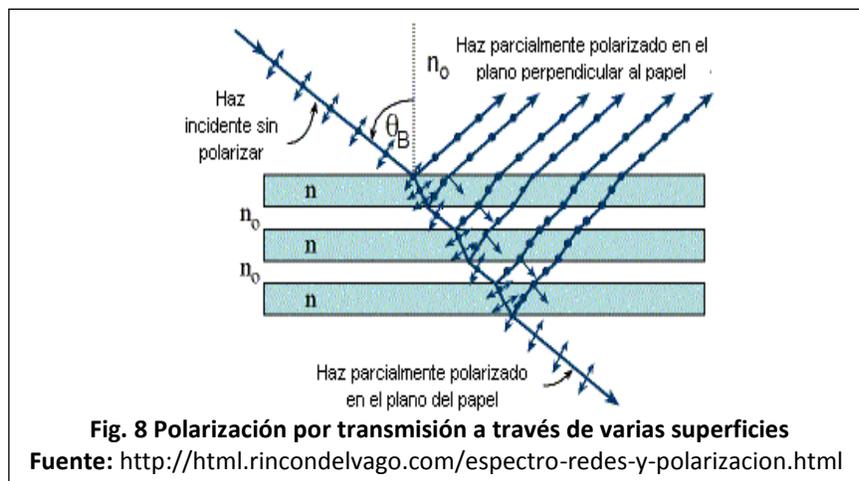
Utilizando la relación matemática encontrada por Brewster, el resultado es:

$$n_1 * \text{sen } q_B = n_2 * \text{cos } q_B$$

Por lo tanto, la ley de Brewster permite calcular el ángulo de polarización, que se denomina ángulo de Brewster con la siguiente ecuación: [4]

$$\text{tg } q_B = n_2/n_1 \quad \text{EC. 5}$$

Polarización por refracción - Como mencionamos en polarización por reflexión, la radiación transmitida está parcialmente polarizada. La onda reflejada es polarizada paralela a la superficie del material, de modo que la radiación transmitida contiene menos radiación paralela a la superficie. Cuando varias láminas (como diapositivas de microscopio) se disponen como en la figura, la mayor parte de la radiación polarizada paralela a la superficie es reflejada, y la onda transmitida es polarizada.



⁴ La **ley de Snell** es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto.

Si el haz incide con el ángulo de Brewster (θ_B), la polarización del haz transmitido es perpendicular al límite de la superficie.

Polarización por doble refracción – Algunos cristales en la naturaleza tienen diferentes índices de refracción en diferentes direcciones, por lo que el índice de refracción depende de la dirección de polarización de la luz que entra en el cristal.

1.3 Espectro electromagnético

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma⁵ y los rayos X⁶, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck⁷ mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo.

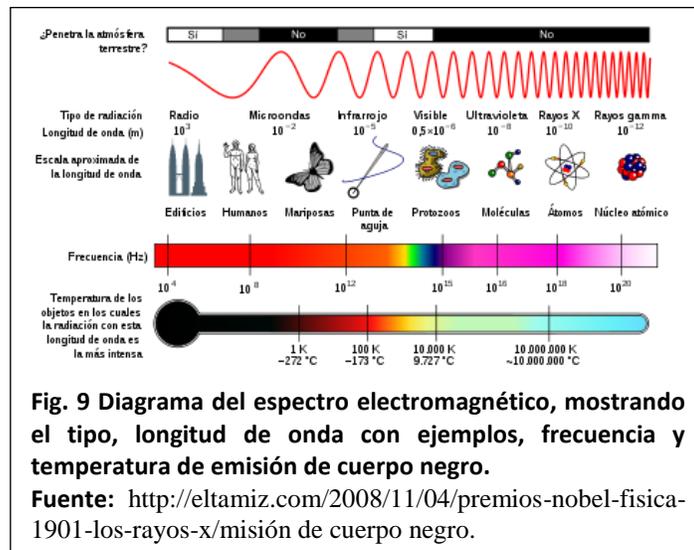


Fig. 9 Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda con ejemplos, frecuencia y temperatura de emisión de cuerpo negro.

Fuente: <http://eltamiz.com/2008/11/04/premios-nobel-fisica-1901-los-rayos-x/misión de cuerpo negro>.

⁵ La radiación gamma o rayos gamma (γ) es un tipo de radiación electromagnética, y por tanto formada por fotones, producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. Este tipo de radiación de tal magnitud también es producida en fenómenos astrofísicos de gran violencia.

⁶ La denominación rayos X designa a una radiación electromagnética, invisible, capaz de atravesar cuerpos opacos y de imprimir las películas fotográficas.

⁷ La longitud de Planck (L_p) es la distancia o escala de longitud por debajo de la cual se espera que el espacio deje de tener una geometría clásica. Una medida inferior previsiblemente no puede ser tratada adecuadamente en los modelos de física actuales debido a la aparición de efectos de gravedad cuántica.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

En función de lo anterior, el espectro radioeléctrico o de Radio Frecuencia (RF) se refiere a la parte de espectro electromagnético en el cual las ondas electromagnéticas pueden generarse alimentando a una antena con corriente alterna.

A continuación se presenta las bandas de RF más importantes: [5]

Abreviatura	Descripción	Banda	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 km
ELF	Extremely low frequency	1	3-30 Hz	100.000 km – 10.000 km
SLF	Super low frequency	2	30-300 Hz	10.000 km – 1000 km
ULF	Ultra low frequency	3	300–3000 Hz	1000 km – 100 km
VLF	Very low frequency	4	3–30 kHz	100 km – 10 km
LF	Low frequency	5	30–300 kHz	10 km – 1 km
MF	Medium frequency	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
HF	High frequency	7	3–30 MHz	100 m – 10 m
VHF	Very high frequency	8	30–300 MHz	10 m – 1 m
UHF	Ultra high frequency	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
SHF	Super high frequency	10	3-30 GHz	100 mm – 10 mm
EHF	Extremely high frequency	11	30-300 GHz	10 mm – 1 mm
			Por encima de los 300 GHz	< 1 mm

Tabla 1 Frecuencias RF

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>

Frecuencias extremadamente bajas (ELF).- Este rango es equivalente a aquellas frecuencias del sonido en la parte más baja del intervalo de percepción del oído humano. El oído humano percibe ondas sonoras, no electromagnéticas.

Frecuencias súper bajas (SLF).- En este rango se incluyen las ondas electromagnéticas de frecuencia equivalente a los sonidos graves que percibe el oído humano normal.

Frecuencias ultra bajas (ULF).- Este es el intervalo equivalente a la frecuencia sonora normal para la mayor parte de la voz humana.

Frecuencias muy bajas (VLF).- El intervalo de VLF es usado típicamente en comunicaciones gubernamentales y militares.

Frecuencias bajas (LF).- Los principales servicios de comunicaciones que trabajan bajo este rango son la navegación aeronáutica y marina.

Frecuencias medias (MF).- Las ondas más importantes en este rango son las de radiodifusión de AM (530 a 1605 kHz).

Frecuencias altas (HF).- Se les conoce también como "onda corta". En este intervalo tiene una amplia gama de tipos de radiocomunicaciones como: radiodifusión, comunicaciones gubernamentales y militares, comunicaciones en banda de radioaficionados y banda civil.

Frecuencias muy altas (VHF).- Es un rango popular usado para muchos servicios, como la radio móvil, comunicaciones marinas y aeronáuticas, transmisión de radio en FM (88 a 108 MHz) y los canales de televisión del 2 al 12 según norma CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones). También hay varias bandas de radioaficionados en este rango.

Frecuencias ultra altas (UHF).- En este intervalo se incluye los canales de televisión de UHF, es decir, del 21 al 69 y se usan también en servicios móviles de comunicación en tierra, en servicios de telefonía celular y en comunicaciones militares.

Frecuencias súper altas (SHF).- Son ampliamente utilizadas para comunicaciones vía satélite y radioenlaces terrestres. Además, pretenden utilizarse en comunicaciones de alta tasa de transmisión de datos a muy corto alcance mediante UWB⁸. También son utilizadas con fines militares, por ejemplo, en radares basados en UWB.

⁸ **UWB** es una tecnología en el rango de las PAN (*red de área personal*). Permite paquetes de información muy grandes (480 Mbits/s) conseguidos en distancias cortas, de unos pocos metros. Los dispositivos Wireless USB actuales son implementados con UWB.

Frecuencias extremadamente altas (EHF).- Los equipos usados para transmitir y recibir estas señales son más complejas y costosas, por lo que no están muy difundidos aún.

A mayor frecuencia la longitud de onda se reduce; razón por la cual es posible encontrar también la tabla anterior en función de la longitud y clasificando el espectro en ondas kilométricas, disimétricas, milimétricas, etc.

Las ondas electromagnéticas abarcan un amplio rango de frecuencias. Este rango de frecuencias y longitudes de onda es denominado espectro electromagnético. La parte del espectro más familiar a los seres humanos es probablemente la luz, la porción visible del espectro electromagnético. La luz se ubica aproximadamente entre las frecuencias de $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz y $3,8 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondientes a longitudes de onda desde cerca de 400 nm (violeta/azul) a 800 nm (rojo).

Normalmente también estamos expuestos a otras regiones del espectro electromagnético, incluyendo los campos de la red de distribución eléctrica CA (Corriente Alterna), a 50/60 Hz, Rayos-X / Radiación Roentgen⁹, Ultravioleta (en las frecuencias más altas de la luz visible), Infrarrojo (en las frecuencias más bajas de la luz visible) y muchas otras. Radio es el término utilizado para la porción del espectro electromagnético en el cual las ondas pueden ser transmitidas aplicando corriente alterna a una antena. Esto abarca el rango de 3 Hz a 300 GHz, pero normalmente el término se reserva para las frecuencias inferiores a 1 GHz.

Cuando hablamos de radio, la mayoría de personas piensa en la radio FM, que usa una frecuencia de alrededor de 100 MHz. Entre la radio y el infrarrojo encontramos la región de las microondas con frecuencias de 1 GHz a 300 GHz, y longitudes de onda de 30 cm a 1 mm.

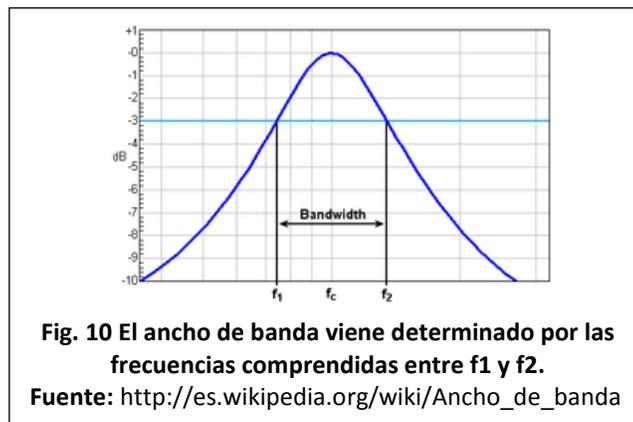
El uso más popular de las microondas puede ser el horno de microondas, que de hecho trabaja exactamente en la misma región que los estándares inalámbricos de los que estamos tratando. Estas regiones caen dentro de las bandas que se están manteniendo abiertas para el uso general, sin requerir licencia. Esta región es llamada banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. En la actualidad estas bandas han sido popularizadas por su uso en comunicaciones WLAN como son tecnología wifi o WPAN Bluetooth. La mayoría de las otras regiones del espectro electromagnético están altamente controladas por la legislación mediante licencias, siendo los valores de las licencias un factor económico muy significativo. En la mayoría de los países, las bandas ISM han sido reservadas para el uso libre.

⁹ **Roentgen** (símbolo R) es una unidad de medida para radiación de ionización (por ejemplo Radiografía y rayos gama)

Para nuestro estudio son de gran interés las de 2400 – 2484 MHz, que son utilizadas por los estándares de radio 802.11b y 802.11g (correspondientes a longitudes de onda de alrededor de 12,5 cm) y 5150 – 5850MHz que utiliza los estándares 802.11 a (correspondiente a longitudes de onda de alrededor de 5 a 6 cm).

1.4 Ancho de Banda

Para señales analógicas, el ancho de banda es la longitud, medida en Hz, del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. También son llamadas frecuencias efectivas las pertenecientes a este rango. [6]



El ancho de banda digital es la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo. Por ejemplo, una línea ADSL de 256 Kbps puede, teóricamente, enviar 256000 bits por segundo. Esto es en realidad la tasa de transferencia máxima permitida por el sistema, que depende del ancho de banda analógico, de la potencia de la señal, de la potencia de ruido y de la codificación del canal.

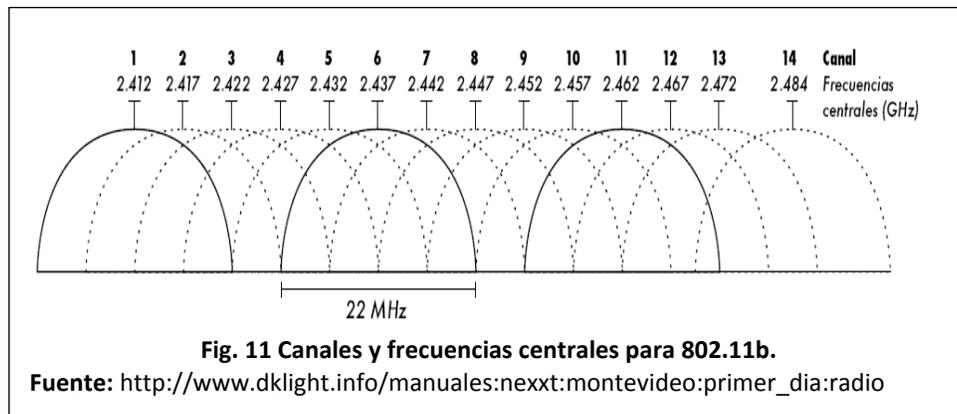
Como ejemplo de banda limitada es la conexión dial up la cual tiene un ancho de banda de apenas 56 Kbps mientras que la conexión de banda ancha es aquella que puede llevar la suficiente información como para mantener la sucesión de imágenes en una presentación de video tienen una mayor tasa de transferencia, este tipo de banda se realiza por medio de una conexión DSL, microondas, cable módem o T1¹⁰. Cada tipo de conexión tiene su propio ancho de banda analógico y su tasa de transferencia máxima. El ancho de banda y la saturación de red son dos factores que influyen directamente sobre la calidad de los enlaces.

¹⁰ T1.- Es un estándar de entramado y señalización para transmisión digital de voz y datos

La tasa de transferencia es la cantidad de información por segundo que puede ser enviada entre un servidor de acceso o aplicaciones a tu computadora, ésta se ve afectada por las horas pico, tráfico en la red, velocidad de acceso y capacidad de transacciones en los servidores Web y de aplicaciones.

1.5 Frecuencias y canales

El espectro está dividido en partes iguales distribuidas sobre la banda en canales individuales. Los productos wifi utilizan bandas libres dentro de las cuales encontramos la banda de 2.4. En esta banda de 2.4, se definieron 11 canales utilizables por equipos WIFI, que pueden configurarse de acuerdo a necesidades particulares. Sin embargo, los 11 canales no son completamente independientes (canales contiguos se superponen y se producen interferencias). El ancho de banda de la señal (22MHz), es superior a la separación entre canales consecutivos (5MHz), por eso se hace necesaria una separación de al menos 5 canales con el fin de evitar interferencias entre celdas adyacentes. [7]



1.6 Línea visual

Una clara Línea de Vista (Line of Sight), es una de las condiciones más importantes para crear enlaces inalámbricos confiables dentro de sus WISP (Wireless Internet Service Provider) o Wireless Backhaul Links. Todas las señales inalámbricas se atenúan cuando encuentran objetos que las obstruyen. El objetivo de todo diseñador de redes es reducir la atenuación implementando enlaces con Línea de Vista clara. [8]

Tipos De Línea de Vista

LoS.- En este caso se tendrá una clara línea de vista visual como también una zona de Fresnel sin obstáculos.

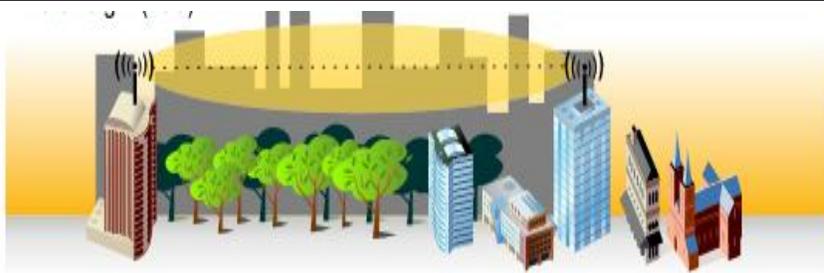


Fig. 12 Línea de Vista

Fuente: http://www.netkrom.com/es/about_line_of_sight.html

nLos.- Se tendrá una clara línea de vista visual; sin embargo la zona de Fresnel se verá parcialmente obstruida.

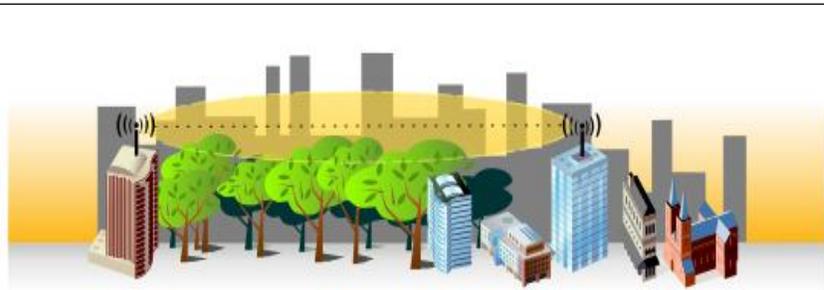


Fig. 13 Línea de Vista cerca

Fuente: http://www.netkrom.com/es/about_line_of_sight.html

NLoS.- Se verá que tanto la línea de vista visual como la zona de Fresnel se ven totalmente obstruidas.

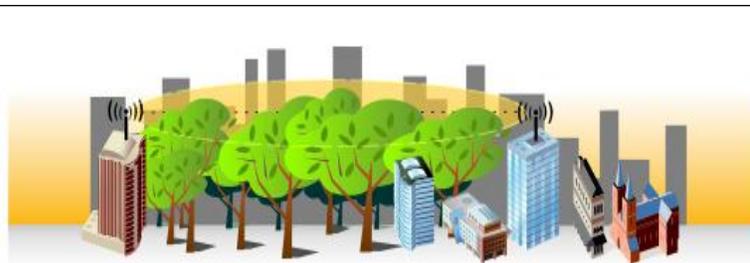
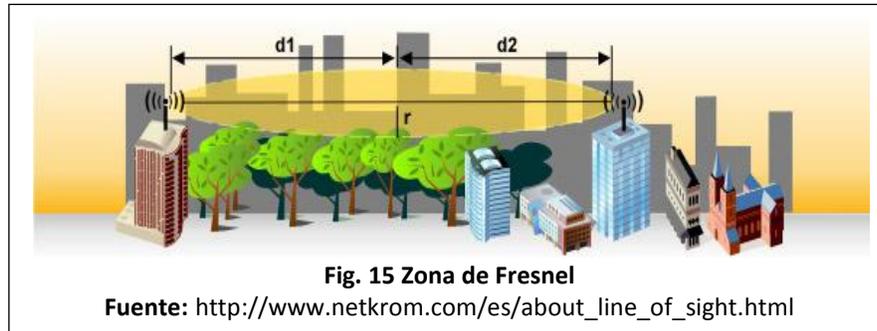


Fig. 14 Sin Línea de Vista

Fuente: http://www.netkrom.com/es/about_line_of_sight.html

Zona de Fresnel

Área en donde se difunde una onda luego de ser emitida por una antena. Mientras menos obstáculos haya en esta área, mejor será transmitida la onda. En los sistemas inalámbricos que se manejan en la frecuencia de 2.4 GHz, la zona Fresnel es muy importante, pues debe mantenerse limpia de obstáculos que detengan la señal. Por ejemplo, los árboles suelen detener mucho más esas señales que las paredes, por su alto contenido en agua. [9]



La ecuación para calcular la zona de Fresnel es:

$$r = 72.1 \sqrt{\frac{d1 \cdot d2}{\text{freq} \cdot \text{total dist}}} \quad \text{EC. 6}$$

Con el fin de asegurar una conexión adecuada, al menos el 60% de la zona de Fresnel debe estar libre de obstrucciones.

1.7 Energía

La energía electromagnética es la cantidad de energía, almacenada en una región del espacio que podemos atribuir a la presencia de un campo electromagnético, y que se expresará en función de las intensidades de campo magnético y campo eléctrico. En un punto del espacio la densidad de energía electromagnética depende de una suma de dos términos proporcionales al cuadrado de las intensidades de campo. [10]

Cualquier onda electromagnética contiene energía, o potencia lo podemos sentir cuando disfrutamos (o sufrimos) del calor del sol. La potencia P es clave para lograr que los enlaces inalámbricos funcionen: se necesita cierto mínimo de potencia para que el receptor le dé sentido a la señal.

El campo eléctrico se mide en V/m (diferencia de potencial por metro), la potencia contenida en él es proporcional al campo eléctrico al cuadrado

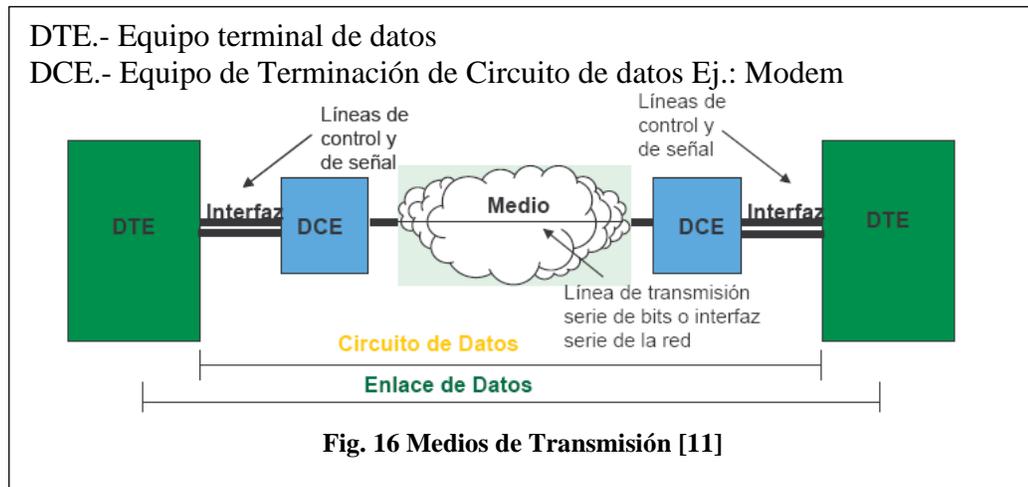
$$P \sim E^2 \quad \text{EC. 7}$$

Capítulo 2 Medios de Transmisión y Servicios Inalámbricos

El medio de transmisión es el puente de unión entre el origen y el destino, siendo este un enlace eléctrico u óptico. Estos medios de comunicación pueden ser hilos de cobre, cable coaxial, fibra óptica e inclusive el aire. Pero sin importar el tipo de medio que utilicemos, todos se caracterizan por tener un cierto nivel de atenuación, ruido, interferencia, desvanecimiento y otros factores muy importantes que inciden para que la señal sea propagada libremente. No obstante este tipo de factores imposibilitan que el canal trabaje correctamente, para ello se debe mitigar y contrarrestar al momento de transmitir cualquier información. Un medio de transmisión estaría conformado básicamente de un emisor, un receptor y el medio.

Un equipo terminal de datos (DTE) utiliza el medio de transmisión a través del equipo de terminación de circuito de datos (DCE).

El DCE recibe y transmite bits a través del medio de transmisión o red y además interacciona con el DTE, intercambiando tanto datos como información de control, este proceso se representa en la siguiente figura.



Se ha comprobado que cerca del 70 % de los fallos producidos en una red se deben a defectos en el cableado, de ahí la importancia de la utilización de materiales de gran calidad y fiabilidad.

Dependiendo de la forma de conducir la señal a través del medio, los medios de transmisión se pueden clasificar en dos grandes grupos, medios de transmisión guiados y medios de transmisión no guiados.

2.1 Medio de Transmisión Guiados

Es cuando las ondas están ligadas a algún tipo de medio físico, están constituidos por un cable que se encarga de la conducción de las señales desde el origen al destino.

En medios guiados, el ancho de banda o velocidad de transmisión dependen de la distancia y del tipo de enlace, es decir si el enlace es punto a punto o multipunto, este tipo de medios se ven limitados por el medio y no salen de él, excepto por algunas pequeñas pérdidas.

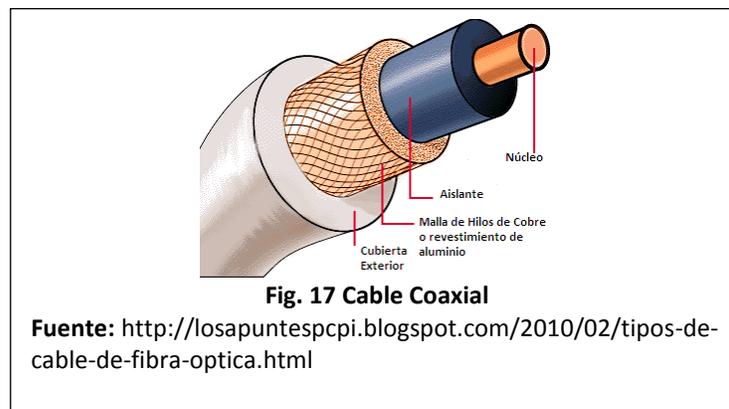
Las principales características son:

- El tipo de conductor utilizado
- La velocidad máxima de transmisión
- Las distancias máximas que puede ofrecer entre repetidores
- La inmunidad frente a interferencias electromagnéticas
- La facilidad de instalación
- La capacidad de soportar diferentes tecnologías del nivel de enlace.

Entre los medios de transmisión guiados encontramos: cable coaxial, par trenzado y fibra óptica los cuales se detallan a continuación.

2.1.1 Cable coaxial

Consiste en un cable conductor interno (cilíndrico) separado de otro cable conductor externo por anillos aislantes o por un aislante macizo, recubierto por otra capa aislante que es el revestimiento del cable. Este cable, aunque es más caro que el par trenzado, se puede utilizar para distancias más largas, con velocidades de transmisión superiores, menos interferencias y permite conectar más estaciones. [12][13] **Anexo A**



Un cable coaxial consta de un núcleo de hilo de cobre rodeado por un aislante, un apantallamiento de metal trenzado y una cubierta externa.

El apantallamiento protege los datos transmitidos absorbiendo las señales electrónicas, llamadas ruido, de forma que no pasan por el cable y no distorsionan los datos. Al cable que contiene una lámina aislante y una capa de apantallamiento de metal trenzado se le denomina cable apantallado doble. Para entornos que están sometidos a grandes interferencias, se encuentra disponible un apantallamiento cuádruple. [14]

El núcleo de un cable coaxial transporta señales electrónicas que forman los datos. Este núcleo puede ser sólido o de hilos. Si el núcleo es sólido, normalmente es de cobre.

Rodeando al núcleo hay una capa aislante dieléctrica que la separa de la malla de hilo. La malla de hilo trenzada actúa como masa, y protege al núcleo del ruido eléctrico y de la intermodulación (la intermodulación es la señal que sale de un hilo adyacente).

Un cortocircuito eléctrico ocurre cuando dos hilos de conducción, o un hilo y una conexión a tierra se ponen en contacto. Este contacto causa un flujo directo de corriente (o datos) en un camino no deseado. Con dispositivos electrónicos que utilizan bajos voltajes este tipo de sucesos a menudo casi no se detecta.

Características:

- ✓ Mayor resistencia a interferencias y atenuación que el cable de par trenzado.
- ✓ Transmite señales analógicas o digitales.

Para señales analógicas, se necesita un amplificador a distancia corta, (pocos kilómetros) y para señales digitales un repetidor cada kilómetro.

La utilización de este tipo de cable suele ser televisión, telefonía a larga distancia, redes de área local, conexión de periféricos a corta distancia, etc.

Antes de la utilización masiva de la fibra óptica en las redes de telecomunicaciones, tanto terrestres como submarinas, el cable coaxial era ampliamente utilizado en sistemas de transmisión de telefonía analógica basados en la multiplexación por división de frecuencia (FDM), donde se alcanzaban capacidades de transmisión de más de 10.000 circuitos de voz.

Asimismo, en sistemas de transmisión digital, basados en la multiplexación por división de tiempo (TDM), se conseguía la transmisión de más de 7.000 canales de 64 Kbps

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

El cable utilizado para fines de transmisión a larga distancia necesitaba tener una estructura diferente al utilizado en aplicaciones de redes LAN, ya que, debido a que se instalaba bajo la tierra, tenía que estar protegido, por lo que normalmente aparte de los aislantes correspondientes llevaba un revestimiento exterior de acero.

Las normas 10 Base 2 así como 10 Base 5 corresponden a las normas IEEE del estándar IEEE 802.3.

A continuación se presenta una tabla en la cual se resume este estándar en los diferentes medios de transmisión guiados.

NOMBRE	CABLE	Imagen	DIST MAX	VENTAJAS
10Base5	Coaxial Grueso		500m	Bueno para backbone grueso
10Base2	Coaxial Delgado		200m	Sistema más barato
10Base-T/ 100Base-TX/ 1000Base-T	Par Trenzado		100m	Fácil mantenimiento
10Base-F/ 100Base-FX/	Fibra Óptica		400m Half Duplex 2km Full Duplex	Mejor entre edificios.

Tabla 2 Normas IEEE 802.3 Anexo B

Modelos de Cable Coaxial

Cable estándar, de tipo especial conforme a las normas IEEE 802.3, 10 BASE 5. Se denomina también cable coaxial "grosso", y tiene una impedancia de 50 Ohmios. El conector que utiliza es del tipo "N".

Cable coaxial delgado, denominado también RG 58, con una impedancia de 50 Ohmios. El conector utilizado es del tipo BNC.



2.1.2 Par trenzado

Es uno de los más antiguos en el mercado y en algunos tipos de aplicaciones es el más común, los pares trenzados se agrupan bajo una cubierta común de PVC (Poli cloruro de Vinilo).

El cable de par trenzado está compuesto de conductores de cobre aislados por plástico y trenzados en pares. La disposición interna de los pares de cable y de las unidades disminuye el ruido o interferencia, mejor conocido como diafonía.



Las ventajas más importantes son su costo, flexibilidad y la facilidad para conectar.

La desventaja es que se utiliza a distancias limitadas ya que la señal se va atenuando y puede llegar a ser imperceptible; es por eso que a determinadas distancias se deben emplear repetidores que regeneren la señal.

Con estos cables, se pueden transmitir señales analógicas o digitales. Es un medio muy susceptible a ruido y a interferencias. Para evitar estos problemas se suele trenzar el cable con distintos pasos de torsión y se suele recubrir con una malla externa para evitar las interferencias externas.

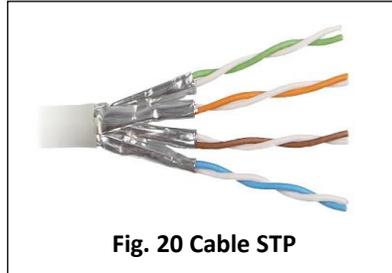
En este tipo de medios podemos encontrar:

- Apantallado (STP/ Shielded Twisted Pair).
- No apantallado (UTP/ Unshielded twisted pair).

- Con pantalla global (FTP) También llamado FUTP

Cable de par trenzado apantallado (STP)

En este tipo de cable, cada par está recubierto por una malla conductora que actúa de protección frente a interferencias y ruido eléctrico. Su impedancia es de 150 Ohm.

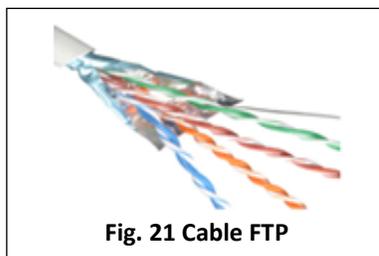


El nivel de protección del STP ante perturbaciones externas es mayor al ofrecido por UTP. Sin embargo es más costoso y requiere más tiempo en la instalación. La pantalla del STP, para que sea más eficaz, requiere una configuración de interconexión con tierra (dotada de continuidad hasta el terminal), con el STP se suele utilizar conectores RJ49.

Es utilizado generalmente en las instalaciones de procesos de datos por su capacidad y sus buenas características contra las radiaciones electromagnéticas, pero el inconveniente es que es un cable robusto, caro y difícil de instalar.

Cable de par trenzado con pantalla global (FTP)

En este tipo de cable como en el UTP, sus pares no están protegidos, pero sí dispone de una pantalla global para mejorar su nivel de protección ante interferencias externas. Su impedancia característica es de 120 OHMIOS y sus propiedades de transmisión son más parecidas a las de UTP. Además, puede utilizar los mismos conectores RJ45. Tiene un costo intermedio entre el UTP y STP.



Se suele utilizar para, aplicaciones que se van a someter a una elevada interferencia electromagnética externa, ya que este cable tiene un gran aislamiento de la señal.

Una de las ventajas que tiene el FTP es que puede ser configurado en topologías diferentes: topología en estrella y topología en bus, además es de fácil instalación.

También tiene algunas desventajas como son: gran sensibilidad al ruido y no soporta grandes velocidades de transmisión.

Cable de par trenzado no apantallado (UTP)

Este al igual que el FTP no tiene una pantalla adicional de revestimiento tiene una impedancia de 100 Ohmios. El conector más utilizado en este tipo de cable es el RJ45, aunque también pueden usarse otros como: RJ11, DB25, DB11, etc. dependiendo del adaptador de red.

Es sin duda el que hasta ahora ha sido mejor aceptado, por la accesibilidad en su costo y la fácil instalación. Sus dos alambres de cobre torcidos aislados con plástico PVC han demostrado un buen desempeño en las aplicaciones de hoy. Sin embargo, a altas velocidades puede resultar vulnerable a las interferencias electromagnéticas del medio ambiente.

Los colores del aislante están normalizados a fin de facilitar su manipulación por grandes cantidades.

Para Redes Locales los colores estandarizados son:

Blanco / Naranja – Naranja.

Blanco / Verde – Verde.

Blanco / Azul – Azul

Blanco / Café – Café

El cableado estructurado para redes de computadores tiene dos tipos de normas, la EIA/TIA-568A (T568A) y la EIA/TIA-568B (T568B). Se diferencian por el orden de los colores de los pares a seguir en el armado de los conectores RJ45. Si bien el uso de cualquiera de las dos normas es indiferente, generalmente se utiliza la T568B para el cableado punto a punto.

Pin	Función	568A	568B	Posición de los pines	Gigabit Ethernet (variante A)	Gigabit Ethernet (variante B)
1	Transceive data +	Blanco - Verde	Blanco - Naranja		Blanco - Naranja	Blanco - Verde
2	Transceive data -	Verde	Naranja		Naranja	Verde
3	Receive data +	Blanco - Naranja	Blanco - Verde		Blanco - Verde	Blanco - Naranja
4	Bi-directional data +	Azul	Azul		Azul	Blanco - Marrón
5	Bi-directional data -	Blanco - Azul	Blanco - Azul		Blanco - Azul	Marrón
6	Receive data -	Naranja	Verde		Verde	Naranja
7	Bi-directional data +	Blanco - Marrón	Blanco - Marrón		Blanco - Marrón	Azul
8	Bi-directional data -	Marrón	Marrón		Marrón	Blanco - Azul

Fig. 22 Normas 568A/568B

Fuente: http://www.elotrolado.net/hilo_jugar-lan-con-vecino_1288477_s40

En telefonía, es común encontrar dentro de las conexiones grandes cables telefónicos compuestos por cantidades de pares trenzados, aunque perfectamente identificables unos de otros a partir de la normalización de los mismos.

En los cables UTP se distinguen dos clasificaciones:

Las Clases: Especifica las distancias permitidas, el ancho de banda conseguido y las aplicaciones, para las que es útil en función de estas características.

Las Categorías: Son un conjunto de parámetros de transmisión que garantizan un ancho de banda determinado.

Cada categoría especifica las características eléctricas: atenuación, capacidad de la línea e impedancia. Existen actualmente 8 categorías dentro del cable UTP, de las cuales citamos las que actualmente son más utilizadas.

- Categoría 4: Esta definido para redes de ordenadores tipo anillo como Token Ring, con un ancho de banda de hasta 20 MHz y con una velocidad de 20 Mbps.
- Categoría 5e: Es una categoría 5 mejorada. Minimiza la atenuación y las interferencias.
- Categoría 6: (ANSI/TIA/EIA-568-B.2-1) Es un estándar para Gigabit Ethernet y otros protocolos de redes, es retro compatible con los estándares de categoría 5/5e y categoría 3. La categoría 6 posee características y especificaciones para crosstalk o ruido. Es utilizable para 10BASE-T, 100BASE-TX y 1000BASE-TX. Alcanza frecuencias de hasta 250 MHz en cada par y una velocidad de 1Gbps.

- Categoría 6a: (ANSI/TIA/EIA-568-B.2-10) La TIA aprobó una nueva especificación estándar de rendimiento mejorado para sistemas con cables trenzados no blindado y trenzados blindados. La especificación indica sistemas de cables llamados Categoría 6 Aumentada o "Categoría 6A", que operan a frecuencias de hasta 550 MHz (tanto para cables no blindados como cables blindados) y proveen transferencias de hasta 10 Gbit/s. La nueva especificación mitiga los efectos de la diafonía o crosstalk. Soporta una distancia máxima de 100 metros.

En la siguiente tabla se especifica el nivel de atenuación permitido según la velocidad de transmisión para un cable UTP, (especificaciones TSB-36) referidas a un cable estándar de 100 metros de longitud.

Velocidad de Transmisión de Datos	Nivel de Atenuación
4 Mbps	13 dB
10 Mbps	20 dB
16 Mbps	25 dB
100 Mbps	67 dB

Tabla 3 Especificaciones TSB-36

FUENTE: <http://www.monografias.com/trabajos5/ponchado/ponchado.shtml>

La EIA/TIA ha definido el estándar EIA/TIA 568, compuesto de informes técnicos que definen los componentes que hay que utilizar:

- TSB36A: cables con pares trenzados 100W UTP y FTP
- TSB40A: conector RJ45, empalmes por contactos CAD
- TSB 53: cables blindados 150W y conector hermafrodita

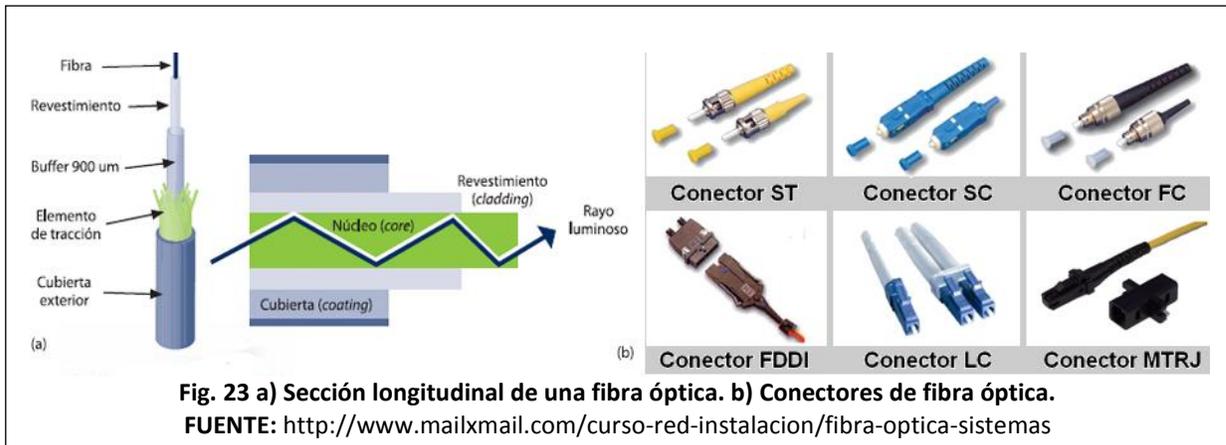
Los principales parámetros considerados son: Impedancia, Para diafonía, Atenuación y ACR (ratio Señal/Ruido).

2.1.3 Fibra Óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell.

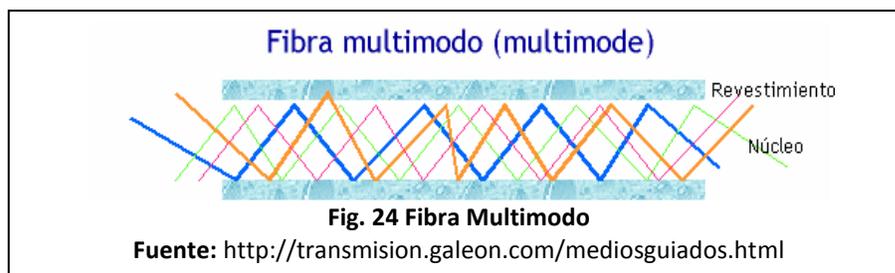
La fibra óptica permite la transmisión de señales luminosas. Es insensible a interferencias electromagnéticas externas. Los medios conductores metálicos, son incapaces de soportar frecuencias muy elevadas, por lo que para altas frecuencias son necesarios medios de transmisión ópticos. La luz ambiental es una mezcla de señales de distintas frecuencias por lo que no es una buena señal portadora luminosa para la transmisión de datos. [15]

La siguiente figura ilustra las partes de una fibra óptica y de igual forma los conectores con los cuales se realiza el ponchado.

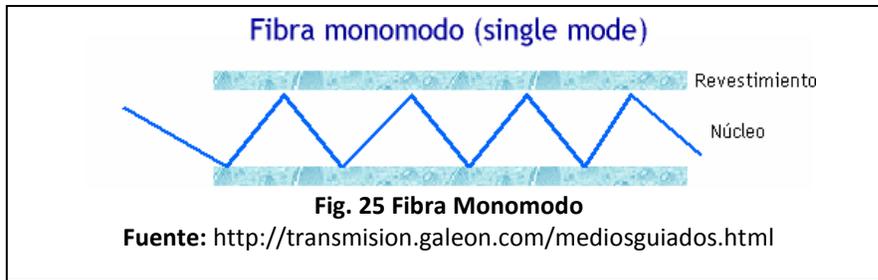


Clasificación de las fibras

- Fibra Óptica Multimodo: Pueden ser guiados muchos rayos luminosos, cada uno de los cuales sigue un camino diferente dentro de la fibra óptica. Este efecto hace que su ancho de banda sea inferior al de las fibras Monomodo. Este tipo de fibras son las preferidas para comunicaciones en cortas distancias, de hasta 10 Km.



- Fibras Monomodo: El diámetro del núcleo de la fibra es muy pequeño y sólo permite la propagación de un único modo o rayo, el cual se propaga directamente, sin reflexión. Este efecto causa que su ancho de banda sea muy elevado, por lo que su utilización se suele reservar a grandes distancias, superiores a 10 Km, junto con dispositivos de coste elevado, tales como el láser.



Características:

- ✓ Altos niveles de transferencia de datos. 50 Gbps en distancias de 1 km y 10 Mbps en distancias de 2 km.
- ✓ Grandes distancias. En el caso de Ethernet se pueden tener nodos remotos a distancias de hasta 2 km sin necesidad de un repetidor.
- ✓ No es susceptible al ruido.
- ✓ Requiere de herramientas especiales para el armado de los conectores.
- ✓ El equipo de pruebas es demasiado costoso.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y/o cable. Son el medio de transmisión por excelencia, al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite una alta confiabilidad y fiabilidad.

Una ventaja importante que ofrece es la fiabilidad, la tasa de error es mínima. Su peso y diámetro la hacen ideal frente a los cables de par trenzado o coaxial. Normalmente se encuentra instalada en grupos, en forma de mangueras, con un núcleo metálico que les sirve de protección y soporte frente a las tensiones producidas en el cable ya que la fibra, en sí misma, es extraordinariamente frágil. Su principal inconveniente es la dificultad de realizar una buena conexión de distintas fibras con el fin de evitar reflexiones de la señal.

Desde un principio las redes de fibra óptica han utilizado un sistema de multiplexación en el tiempo (TDM, Time División Multiplexing) para efectuar sus transmisiones. Los sistemas TDM actuales han llegado a velocidades de 10 Gbps, lo que está muy alejado de los 30 THz de ancho de banda teórico que soporta una fibra. Con el fin de aprovechar al máximo las conducciones de fibra se ha definido una nueva modulación llamada WDM (Wavelength División Multiplexing) o multiplexación en longitud de onda, que consiste en introducir en la fibra no una longitud de onda sino varias. Actualmente se llegan a multiplexar 50 longitudes de onda sobre la misma fibra (multiplexación

densa en longitud de onda). A esta modulación, se superpone la ya tradicional en el tiempo TDM, consiguiendo sistemas de transmisión mixtos entre los 40 y los 160 Gbps de velocidad.

2.2 Medios de Transmisión no Guiados

Una manera diferente de transmitir información que no se ha tomado en cuenta hasta este momento son los medios no físicos o no guiados. Los medios no físicos son todos aquellos donde las señales de radio frecuencia (RF) originadas por la fuente se irradian libremente a través del medio y se esparcen por éste, el aire es conocido técnicamente como el espectro radioeléctrico o electromagnético.

Tanto la transmisión como la recepción de información se llevan a cabo mediante antenas. A la hora de transmitir, la antena irradia energía electromagnética en el medio. Por el contrario en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. Existen dos tipos de transmisión inalámbrica.

Omnidireccionales: La antena transmisora emite en todas las direcciones espaciales y la receptora recibe igualmente en toda dirección.

Direccionales: La energía emitida se concentra en un haz, para lo cual se requiere que la antena receptora y transmisora esté alineada. Cuanto mayor sea la frecuencia de transmisión, es más factible confinar la energía en una dirección.

La transmisión de datos a través de medios no guiados, añade problemas adicionales provocados por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio. Resultando más importante el espectro de frecuencias de la señal transmitida que el propio medio de transmisión en sí mismo.

Otros dos medios utilizados en menor escala, y sólo cuando las necesidades obligan, son los que componen las redes inalámbricas por excelencia, las emisiones de infrarrojos y las de microondas terrestres. Para las dos se precisa unas condiciones ambientales muy concretas, pues están sujetas a múltiples interferencias, y aunque las microondas son lógicamente superiores, ni las distancias, ni la capacidad del medio, ni la velocidad, la convierten en un sistema muy utilizado.

2.2.1 Microondas

El término "microondas" viene porque la longitud de onda de esta banda es muy pequeña (milimétricas o micrométricas). Pero el término se asocia a la tecnología conocida como microondas

terrestres, que utilizan un par de radios y antenas de microondas. Tanto los operadores de redes fijas como los móviles utilizan las microondas para superar el cuello de botella de la última milla de otros medios de comunicación. [16][17]



Los microondas utilizan el espacio aéreo como medio físico de transmisión. La información se transmite en forma digital a través de ondas de radio. Pueden direccionarse múltiples canales a múltiples estaciones dentro de un enlace dado, o pueden establecer enlaces punto a punto. Las estaciones consisten en una antena tipo plato y de circuitos que interconectan la antena con la terminal del usuario.

Las microondas están definidas como un tipo de onda electromagnética situada en el intervalo del milímetro al metro y cuya propagación puede efectuarse por el interior de tubos metálicos. Tiene como características que su ancho de banda varía entre 300 a 3.000 MHz, aunque con algunos canales de banda superior, entre 3,5 GHz y 26 GHz. Es usado como enlace entre una empresa y un centro que funcione como centro de conmutación del operador, o como un enlace entre redes LAN. Para la comunicación de microondas terrestres se deben utilizar antenas parabólicas, las cuales deben estar alineadas o tener visión directa entre ellas, además entre mayor sea la altura mayor el alcance, sus problemas ocasionan pérdidas de datos por atenuación e interferencias, y es muy sensible a las malas condiciones atmosféricas. [18]

Dentro de las desventajas de este tipo de enlace tenemos:

- Pérdidas debido a la atenuación, las cuales aumentan con el cuadrado de la distancia (con cable coaxial y par trenzado son logarítmicas).
- La atenuación aumenta con las lluvias.

- Las interferencias debido a la proliferación de estos sistemas, puede haber más solapamientos de señales.

Por lo general se utilizan antenas parabólicas de aproximadamente 3 metros de diámetro, tienen que estar fijadas rígidamente. Es conveniente que las antenas estén a una cierta distancia del suelo para impedir que algún obstáculo se interponga en el haz. La distancia máxima entre antenas sin ningún obstáculo es de 7,14 Kms, claro que esta distancia se puede aumentar si se aprovecha la curvatura de la tierra haciendo refractar las microondas en la atmósfera terrestre.

El uso principal de este tipo de transmisión se da en las telecomunicaciones de largas distancias, se presenta como alternativa del cable coaxial o la fibra óptica.

Este sistema necesita menor número de repetidores o amplificadores que el cable coaxial, pero necesita que las antenas estén alineadas. Los principales usos de las Microondas terrestres son para la transmisión de televisión y voz, también para enlazar punto a punto dos edificios.

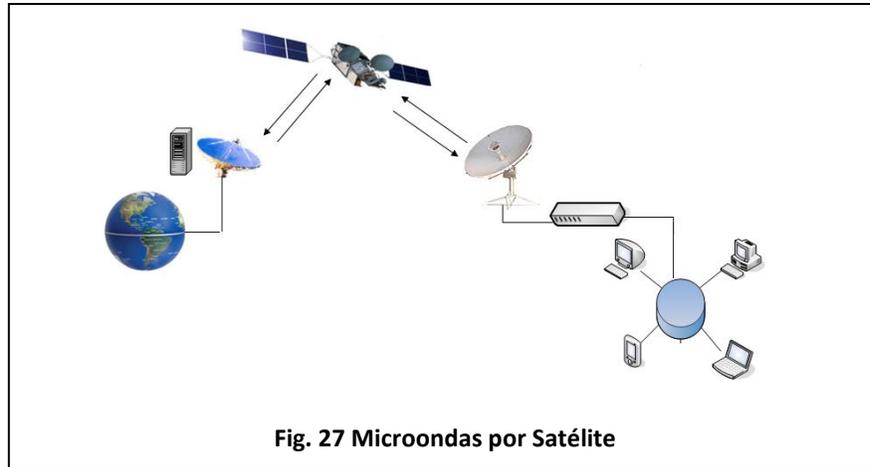
La banda de frecuencia va de 2 a 40 GHz. Cuanto mayor es la frecuencia utilizada mayor es el ancho de banda lo que da mayor velocidad virtual de transmisión.

Éste es un medio de transmisión que ya tiene muchas décadas de uso: en el pasado las compañías telefónicas se aprovechaban de su alta capacidad para la transmisión de tráfico de voz. Gradualmente, los operadores reemplazaron el corazón de la red a fibra óptica, dejando como medio de respaldo la red de microondas. Lo mismo sucedió con el video, el cual fue sustituido por el satélite. A pesar de todo, las microondas terrestres siguen conformando un medio de comunicación muy efectivo para redes metropolitanas para interconectar bancos, mercados, tiendas departamentales y radio bases celulares.

Debido a la gran demanda de este tipo de frecuencia, para utilizar este servicio son necesarias frecuencias permitidas; es muy frecuente el uso no autorizado de este tipo de enlaces en versiones punto a punto y punto multipunto.

Microondas por satélite

El sistema de comunicación mediante satélite está equipado por múltiples antenas y transmisores-receptores.



Cada dispositivo transmisor-receptor funciona de la siguiente manera: escucha una parte del espectro, amplifica la señal de entrada y la retransmite a otra frecuencia para evitar los efectos de interferencia.

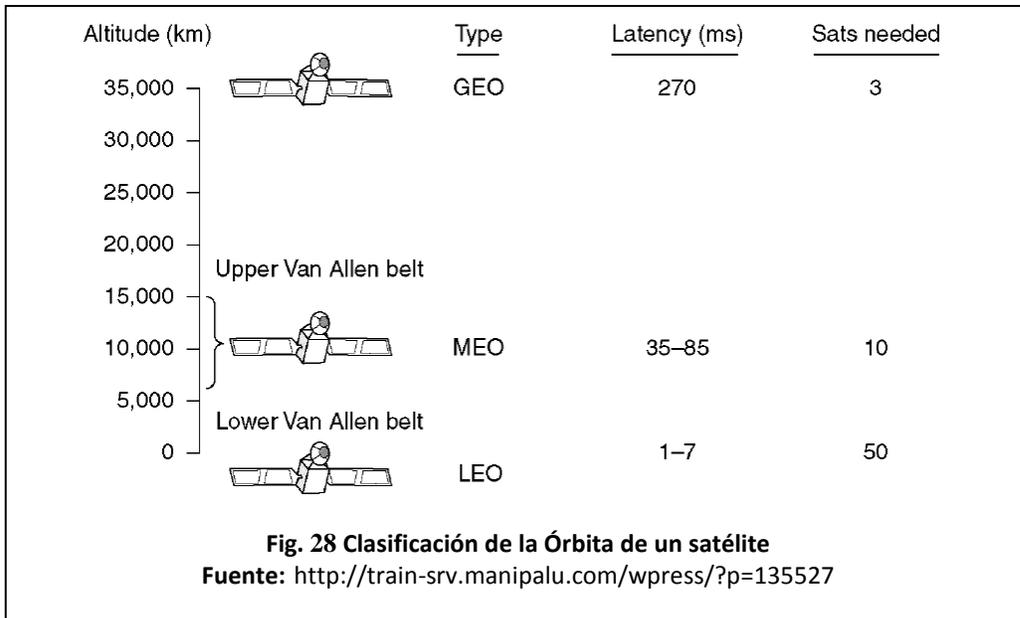
Un satélite es un cuerpo que gira libremente alrededor de otro. Existen satélites terrestres artificiales que han sido colocados en órbita por el hombre. Hoy en día, colocar un satélite en órbita es una operación casi rutinaria.

Los satélites hacen las veces de repetidor: recibe la señal que viene de la antena y la retransmite a la Tierra. Entonces las frecuencias en el enlace de subida (uplink) son diferentes de la frecuencia de bajada (downlink).

Como los satélites deben estar separados los unos a los otros para evitar interferencias, el número de posiciones geoestacionarias disponible es finito.

Una manera sencilla de diferenciar los diversos sistemas de satélites es por la altura a la que se encuentran.

Los expertos en satélites utilizan términos básicos para describir las diversas altitudes, que son: GEO, MEO, LEO, los satélites colocados en la órbita geoestacionaria se conocen como satélites GEO (Geostationary Earth Orbit). Los satélites en órbitas más bajas se denominan LEO (Low Earth Orbit) y generalmente giran en órbitas del orden de mil Km de altura. Algunos con órbitas un poco mayores (del orden de 5.000 hasta 10.000 Km) se les conoce como MEO (Medium Earth Orbit).



En general una estación terrestre se compone de los siguientes elementos.

Transmisor	Receptor
Un multiplexor	Antena receptora
Un MODEM	Amplificador de bajo ruido (LNA)
Un convertidor (UP/DOWN CONVERTER)	Convertidor de RF a IF
Un amplificador de alta potencia (HPA)	Demodulador
Una antena transmisora	Demultiplexor

Tabla 4 Componentes de Conexión Microondas

El rango de frecuencias para la recepción del satélite debe ser diferente del rango al que este emite, para que no haya interferencias entre las señales que ascienden y las que descienden.

Debido a que la señal tarda un pequeño intervalo de tiempo desde que sale del emisor en la Tierra hasta que es devuelta al receptor o receptores, se debe tener cuidado con el control de errores y de flujo de la señal.

2.2.2 Infrarrojos

El infrarrojo es un tipo de luz que no podemos ver con nuestros ojos. La luz infrarroja nos brinda información especial que no podemos obtener de la luz visible. Todas las cosas tienen algo de calor e irradian luz infrarroja.



Los emisores y receptores de infrarrojos deben estar alineados o bien estar en línea tras la posible reflexión de rayo en superficies como las paredes. En infrarrojos no existen problemas de seguridad ni de interferencias ya que estos rayos no pueden atravesar los objetos (por ejemplo paredes). Tampoco es necesario permiso para su utilización. [19]

Las ondas electromagnéticas de frecuencias superiores a las de los microondas, pero inferiores a las de la luz del orden de los 100.000 GHz, también se usan para transmisión de información.

Las transmisiones de láser de infrarrojo directo envuelven las mismas técnicas empleadas en la transmisión por fibra óptica, excepto que el medio en este caso es el aire libre. El láser tiene un alcance de hasta 10 millas, aunque casi todas las aplicaciones en la actualidad se realizan a distancias menores de una milla. Típicamente, las transmisiones en infrarrojo son utilizadas donde la instalación de cable no es factible entre ambos sitios a conectar. Las velocidades típicas de transmisión a esas distancias son 1.5 Mbps. Se debe tener mucho cuidado, en la instalación ya que los haces de luz pueden dañar al ojo humano. Por lo que se requiere un lugar adecuado para la instalación del equipo [20].

La luz infrarroja se comporta similar a la luz visible: se refleja en superficies brillantes, pasa a través del vidrio y no atraviesa objetos opacos. Estos rayos que se usan en los controles remotos de nuestros televisores, también se utilizan para redes de computadores con una pequeña luz infrarroja que es muy útil en las transmisiones en distancias cortas, la desventaja es que no debe haber ningún obstáculo entre el emisor y el receptor. Mientras las frecuencias de radio se acercan a las frecuencias de la luz visible se comportan menos como radio y más como luz. La luz infrarroja no se puede usar en exteriores porque el sol las anula.

Para resolver el problema de que la brillantez del sol anula la luz infrarroja, se usan rayos láser en pequeñas distancias. El rayo láser es una luz muy potente (no se dispersa fácilmente con la distancia).

Para distancias cortas las transmisiones vía láser / infrarrojo son una excelente opción. Lo cual resulta en poco tiempo más económico que el empleo de estaciones de microondas terrestres. El rayo láser es unidireccional y se utiliza bastante para conectar LANs localizadas en diferentes edificios, necesitando dos rayos por cada nodo.

Servicios Inalámbricos

2.3 GSM

El sistema Mundial para Comunicaciones Móviles (GSM) es una norma procedente de Europa que predomina en la tecnología móvil digital instalada hoy en día. El GSM se desarrolló originalmente para las comunicaciones de voz, además de servicios de transmisión de fax y datos a baja velocidad con algunos servicios complementarios como desvío, bloqueo, y transferencia de llamadas, teleconferencias y servicio de mensajes cortos. [21]

Además de ofrecer una serie de servicios complementarios, el GSM se diferencia de las tecnologías previas que compiten con él por dos cuestiones esenciales:

1. Permite la itinerancia del usuario entre redes: un usuario puede utilizar los servicios de su red local en otra red interconectada. Estos servicios incluyen tanto el servicio original de voz como los servicios complementarios y de texto.
2. Ofrece seguridad integrada: autenticación y cifrado. Los dispositivos GSM tienen una tarjeta inteligente, conocida como módulo de identificación de abonado (SIM), que contiene datos específicos del operador y del suscriptor que permite a los usuarios identificarse y cifrar las sesiones (de voz y datos) en el aire. Una cuestión clave es que sólo se cifra la conexión entre el dispositivo y la base central (es decir, no la sesión de extremo a extremo).

El GSM emplea un espectro con licencia y se ha estandarizado para que opere normalmente con bandas de frecuencia de 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz. Esta última se emplea principalmente en América del Norte. En algunas partes del mundo, el GSM también opera en bandas de frecuencia de 450 MHz y 850 MHz, sobre todo mientras se retiran las tecnologías móviles análogas más antiguas y se libera (o reordena) el espectro.

Los datos con conmutación de circuitos a alta velocidad (HSCCD¹¹) son una evolución de la norma GSM que permite el uso de intervalos de tiempo adicionales para obtener una tasa más alta de datos, en teoría hasta 115 Kbps.

¹¹ **High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD)**, es una mejora al mecanismo de transmisión de datos de GSM o circuit-switched data (CSD). Fue aprobado por la ETSI en 1997 y fue desplegado por varios operadores de GSM en el mundo.



Fig. 30 Estación Base de GSM

Fuente: <http://ea5hfa.hubertoalonso.es/?tag=sirdee>

2.4 CDMA

Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código, es una técnica de Acceso Múltiple que utiliza modulación de espectro ensanchado entre cada usuario, que es propietario de un único código expandido, con todos los usuarios compartiendo el mismo espectro, proporcionando una mejor relación costo beneficio, calidad de voz, privacidad, escalabilidad y flexibilidad en comparación con otras tecnologías, así como también es capaz de proporcionar servicios de valor agregado como mensajes de texto, correo electrónico y acceso a internet. [22]

La tecnología CDMA utiliza códigos para realizar la conversión entre las señales de voz analógica y digital así como también emplea códigos para “separar” la voz de la información de control dentro de los flujos de datos denominados canales (diferentes a los canales de frecuencia)

La señal CDMA es generada de la siguiente manera:

- Conversión analógica – digital.- Se realiza mediante la utilización de la técnica conocida como PCM o modulación por código de pulsos.
- Compresión de voz.- CDMA emplea un dispositivo denominado vocoder (codificador de voz), el cual se encuentra en los teléfonos y en los Controladores de Estaciones Base (BSC).
- Codificación e interpolación.- Con la finalidad de introducir redundancia dentro de la señal para posibilitar la recuperación de la información perdida durante la transmisión, los dispositivos encargados de esta función, codificadores e interpoladores, se encuentran dentro de las Estaciones Base (BTS) y los teléfonos.

- Canalización.- Separa los datos de voz codificados unos de otros, luego los símbolos codificados son esparcidos en todo el ancho de banda del canal CDMA. El receptor conoce el código y lo usa para recuperar la señal de voz.
- Conversión digital a radio frecuencia.- Las Estaciones Base (BTS), combinan la canalización de todas las llamadas dentro de una sola señal la cual es convertida a una señal de RF para su transmisión.

Para la recepción, se realiza el proceso inverso:

- Conversión de la señal de radiofrecuencia a señal digital.
- Des-canalización.
- Des-interpolación y decodificación.
- Descompresión de voz.
- Recuperación de la señal analógica (conversión digital-analógica).

Características CDMA

- Reutilización de frecuencias.- Debido a que el espectro de frecuencias es un recurso limitado, los sistemas que lo utilizan tanto para telefonía, radiodifusión, etc. pueden utilizar la misma frecuencia siempre y cuando estén lo suficientemente alejados como para no causar interferencias unos a otros. En el caso de CDMA puede usarse la misma frecuencia en celdas adyacentes ya que los usuarios están separados por canales de código y no de frecuencia.
- Control de energía.- Permite a los dispositivos móviles ajustar el nivel de potencia de transmisión, asegurando que la estación base reciba todas las señales con la potencia apropiada.
- Receptores RAKE.- el cual permite contrarrestar los efectos de la dispersión multicamino, mediante el empleo de varios sub-receptores levemente retrasados con la finalidad de sincronizar los diferentes componentes de la trayectoria multicamino.

Ventajas CDMA:

Cobertura.- Mediante el control de energía se ayuda a la expansión dinámica del área de cobertura; y mediante la codificación e interpolación se proporciona la capacidad de cubrir una mayor área con la misma cantidad de energía empleada con otros sistemas.

Capacidad.- Siendo de diez a veinte veces mayor que los sistemas analógicos y más de cuatro veces mayor que el Acceso Múltiple por División de tiempo (TDMA), debido a la reutilización universal de frecuencias, canalización por código, control de energía y los tipos de handoff.

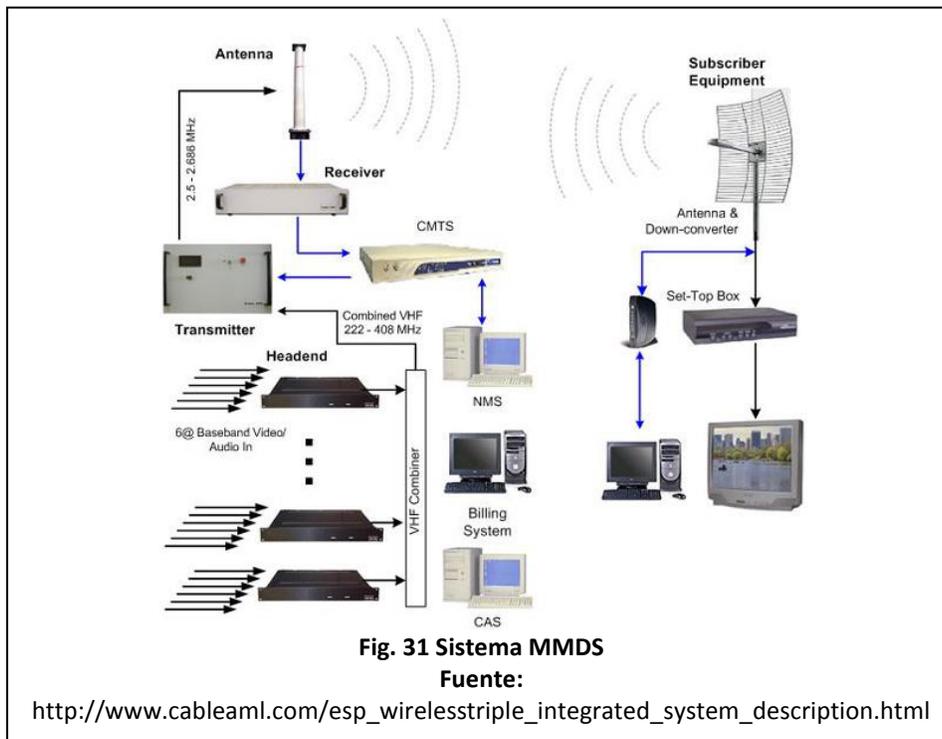
Claridad.- A menudo puede alcanzar niveles de claridad de líneas cableadas debido a su robusto sistema de procesamiento digital.

Compatibilidad.- La posibilidad de trabajar en sistemas analógicos y digitales, debido a la capacidad de modo dual, así como la capacidad de trabajar en dos o más bandas.

Satisfacción del cliente.- Debido a que CDMA proporciona mejor calidad de voz, mayor duración de batería, no crosstalk y privacidad.

2.5 Sistemas de distribución de Microondas Multipunto (MMDS)

Un sistema de MMDS es un servicio de distribución punto multipunto que emite a través de una antena de transmisión principal múltiples canales de video y/o datos en microondas en el rango 2.5-2.7 GHz generalmente, para su posterior recepción mediante pequeñas antenas de bajo costo situadas en el domicilio de los usuarios, sin tener que pertenecer a un área de servicio específico como exigiría una red de CATV¹²



¹² CATV Televisión por cable

Además constituye un servicio bidireccional, para lo cual, se reserva una pequeña porción del ancho de banda contratado, para el tráfico de información en sentido estación base (en la base MDS). En este casi todos los equipos en la estación base y en el hogar del usuario van a funcionar como transmisores y receptores entre canales.

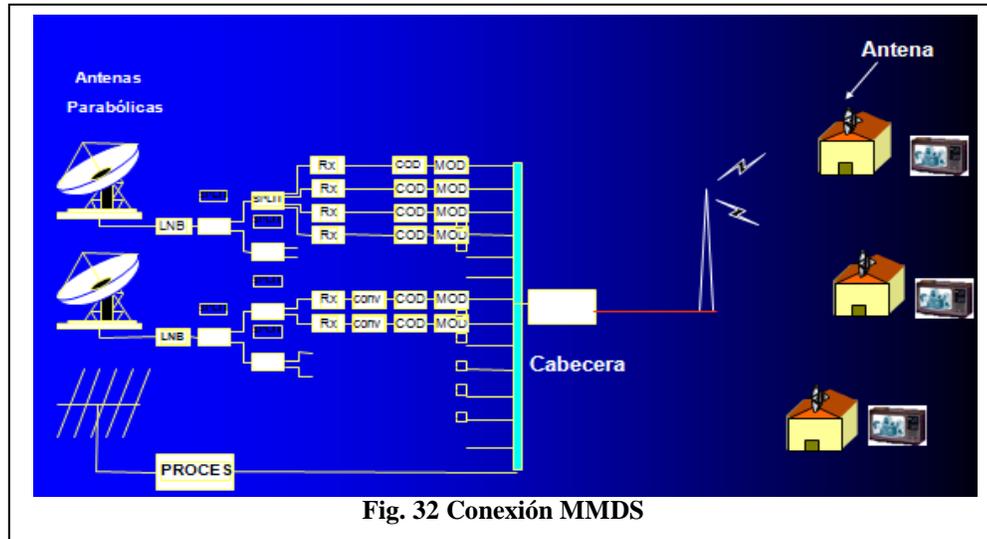


Fig. 32 Conexión MMDS

2.6 Características técnicas de MMDS

En un sistema MMDS los datos son transmitidos vía microondas utilizando un esquema de multiplexión por división en frecuencia (FDM) o por división de tiempo (TDM) siendo este último más utilizado. Cada suscriptor dispone de un modem inalámbrico, el cual monitorea la señal recibida en espera de la información dirigida a un usuario particular. [23]

En cuanto al tráfico, los datos del canal de retorno (U/S, upstreaming) son enviados utilizando la línea telefónica, lo cual se ajusta a la asimetría inherente al acceso a internet. El canal de D/S (downstream, información dirigida al usuario) esta compartido, por lo que es necesario algún tipo de algoritmo para administrar el empleo del canal por parte de los suscriptores. Este algoritmo puede ser relativamente simple ya que sería ejecutado desde el extremo transmisor sin necesidad de realimentación por parte de los usuarios. Cada canal de 6 MHz podría ser modulado utilizando por ejemplo la técnica 64-QAM, lo cual representa una rama de bits de 27 a 30 Mbps después de la respectiva corrección de errores.

Entre los formatos de modulación que pueden emplearse en MMDS tenemos BPSK (Binary Phase Shift Keying, modulación binaria por corrimiento de fase), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, modulación en cuadratura por corrimiento de fase), QAM (Quadrature Amplitude Modulation, modulación de amplitud por cuadratura) y DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum, Espectro

Esparcido de Secuencia Directa). BPSK es una alternativa no muy recomendable, la eficiencia espectral es la mitad de la correspondiente a QSPK con poca ventaja en cuanto a la relación señal/ruido. QAM parece ser el estándar adoptado por la industria, ya que permite obtener un elevado rendimiento en cuanto a velocidad de transmisión. DSSS es una técnica que permitirá obtener un rendimiento aun mayor del espectro radioeléctrico.

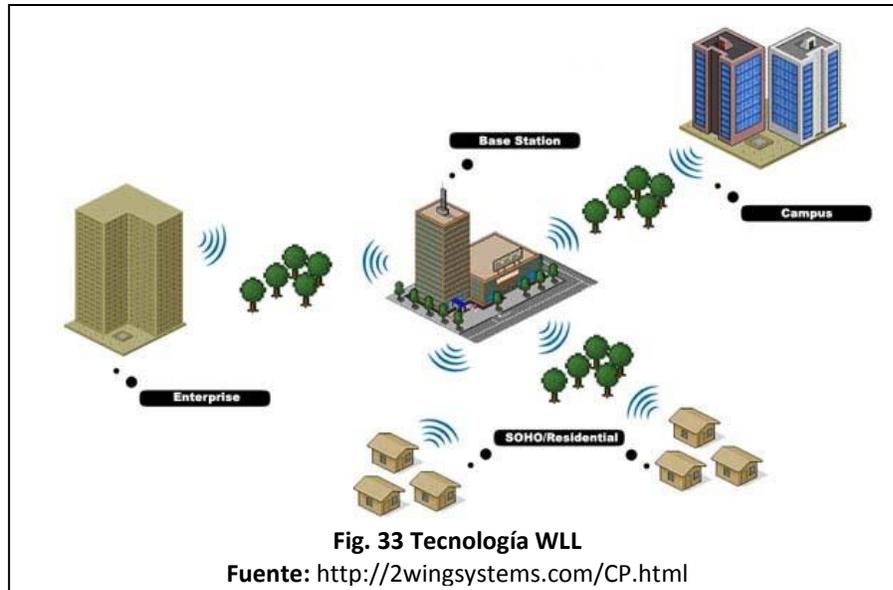
En un sistema de este tipo el espectro disponible está limitado por las disposiciones de los organismos gubernamentales reguladores de las radiocomunicaciones, por lo que es imperativo utilizar algún método que permita aumentar la cobertura sin requerir frecuencias adicionales o lo que es lo mismo aprovechar al máximo la capacidad del canal existente.

Uno de estos métodos es la sectorización, técnica en la cual se emplea un arreglo de antenas altamente direccionales para reutilizar los canales de RF en una determinada zona geográfica. En este contexto, la reutilización de frecuencias se refiere al envío de distinta información a diferentes usuarios utilizando varias veces los mismos canales de RF. Por ejemplo, supóngase que se dispone de un arreglo de antenas que permite dividir la zona a cubrir en 6 sectores de 60° cada uno; si se dispusiera solamente de un par de canales A y B, permitiría utilizar 3 veces cada canal para transmitir distinta información, lo cual triplica la capacidad de cada canal. En un esquema de sectorización existirá un compromiso entre el incremento de la capacidad asociado al número de sectores cubiertos y el incremento de la capacidad asociado a la utilización de esquemas de modulación cada vez más complejos, cuya susceptibilidad al ruido e interferencia será cada vez mayor. Cuando se utiliza la sectorización es necesario contar con una adecuada separación entre sectores adyacentes, lo cual puede lograrse utilizando antenas lo suficientemente directivas y polarizaciones alternas. Por lo general, en un entorno libre de obstáculos y de trayectorias múltiples, un aislamiento entre sectores de 30db suele dar resultados satisfactorios.

Otra técnica empleada para aumentar el rendimiento del espectro de RF es la celularización. En ella se utilizan múltiples transmisores para enviar información a grupos de suscriptores que están geográficamente dispersos; cada grupo de suscriptores se halla dentro de una región o celda. El incremento en la capacidad se produce al enviar diferente información de RF desde distintas celdas utilizando los mismos canales de RF. En la práctica se acostumbra utilizar una combinación de técnicas de sectorización y celularización.

2.7 Wireless Local Loop (WLL)

El Wireless Local Loop (WLL o WILL, también llamado Radio en bucle, RITL o Acceso de Radio Fijo, FRA) es el conjunto de varias tecnologías que se utilizan con un mismo fin; dar acceso a la red telefónica y acceso a Internet, sin la necesidad de tender cables. El término WLL se refiere a la distribución del servicio de telefonía desde la central telefónica hacia los clientes, también llamado en algunos casos la última milla, en redes telefónicas.



Desde la invención del teléfono, el cableado de cobre ha sido el canal tradicional de transmisión entre el suscriptor y la central telefónica. Esto está cambiando rápidamente y abre las puertas a soluciones WLL. WLL tiene la capacidad de transferir datos, voz y vídeo; de tal manera que los proveedores pueden ofrecer un conjunto de productos a sus clientes. En algunas situaciones los costos de implementación de WLL son entre 20 y 50% más económico que una red de cableado de cobre tradicional. Implementar WLL puede resultar bastante rápido en comparación con las redes de cableados tradicionales.

WLL funciona en el espectro radioeléctrico de los 3.400 a los 3.700 MHz, lo que brinda un mayor poder y velocidad en la transmisión de voz y datos. Es por el rango de alta frecuencia en la cual trabaja WLL, que posibilita ofrecer a los clientes una velocidad de conexión entre los 128 y 512 Kbps. WLL utiliza antenas para la transmisión de microondas, con sus respectivas celdas de transmisión,

cada una de las cuales puede cubrir entre 20 a 25 kilómetros cuadrados como máximo. Con unos pequeños receptores que se colocan en los techos o paredes de los hogares.

Para el funcionamiento de WLL, intervienen dos dispositivos; el NIU (Unidad de Interfaz de Red) que es la encargada de conectar al sistema con el resto de la red pública, a través de líneas analógicas o digitales y la BTS (estación base transceptora) que contiene 1 o 2 Sectores RF (Unidades de Radio Base o RBU), controla y agrega un gran número de enlaces de radio, encargados de la emisión y recepción de las señales inalámbricas a través de los canales o frecuencias previamente asignados.

La flexibilidad adicional de los sistemas WLL es ser modular. Esto le permite adicionar mayor cantidad de estaciones bases para distribuir la demanda de la red en función de resolver lo mejor posible la demanda del tráfico. El factor de decisión será eminentemente técnico (cobertura y rapidez en la implementación del servicio), ya que las licencias no tienen costo. Las estaciones bases, en un sistema WLL, se despliegan para proveer la cobertura geográfica necesaria, cada estación base se conecta a la red de telefonía, típicamente por el cable de cobre o a través de conexiones de microondas. De esta manera, un sistema de WLL se asemeja a un sistema celular móvil; cada estación base utiliza una célula o varios sectores de cobertura, manteniendo a los suscriptores dentro del área de la cobertura y proporcionando a la conexión el retorno al PSTN (servicio de red de telefonía pública). El fragmento del área de cobertura es determinado por la potencia del transmisor, las frecuencias en las cuales la estación base y los radios terminales del suscriptor funcionan, por las características locales asociadas de propagación en función de la geografía local y del terreno, y por los modelos de radiación de las antenas de la terminal de la estación base y del suscriptor. El número de estaciones base que necesitan ser desplegadas, va a depender de anticipar el tráfico para el cual se va a utilizar, la capacidad de sistema, la disponibilidad del sitio, el rango de cobertura a proporcionar por sistema, las características de propagación local, y el ancho de banda a ser usado por la red WLL.

En general, cuanto mayor es el ancho de banda disponible, mayor es la capacidad para desplegar la red.

El funcionamiento de la tecnología WLL, permite crear una red inalámbrica, la cual provee a los clientes acceso a Internet, y servicios de telefonía.

Algunas características de la tecnología, son:

- ✓ Servicio de voz de alta calidad y transferencia de datos a alta velocidad
- ✓ Disminución en el tiempo de conexión del abonado

- ✓ Reducción de los costos de implementación, operación y mantenimiento para los operadores que explotan el servicio
- ✓ Inmunidad a factor climático, la lluvia no afecta la continuidad y el buen funcionamiento del servicio
- ✓ Ahorro en infraestructura física, puesto que se pueden utilizar torres e instalaciones existentes, para montar los equipos WLL, así como cableados en la vía pública.
- ✓ Menor cantidad de celdas requeridas respecto al sistema celular al contar con un radio de mayor cobertura.
- ✓ Seguridad, resguarda la privacidad de los datos transmitidos por la red.
- ✓ Sistema Modular, escalable, y crecimiento de la red, de acuerdo a la demanda.

2.8 WiFi

WiFi es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales que utiliza ondas de radio en lugar de cables, además es una marca de la WiFi Alliance (anteriormente la WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance), la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11.

Cuando hablamos de WIFI nos referimos a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizadas hoy en día. WIFI es una abreviatura de Wireless Fidelity, también llamada WLAN (Wireless LAN, red inalámbrica) o estándar IEEE 802.11.

En la actualidad podemos encontrarnos con varios tipos de comunicación WIFI:

802.11a, 802.11b y 802.11g.

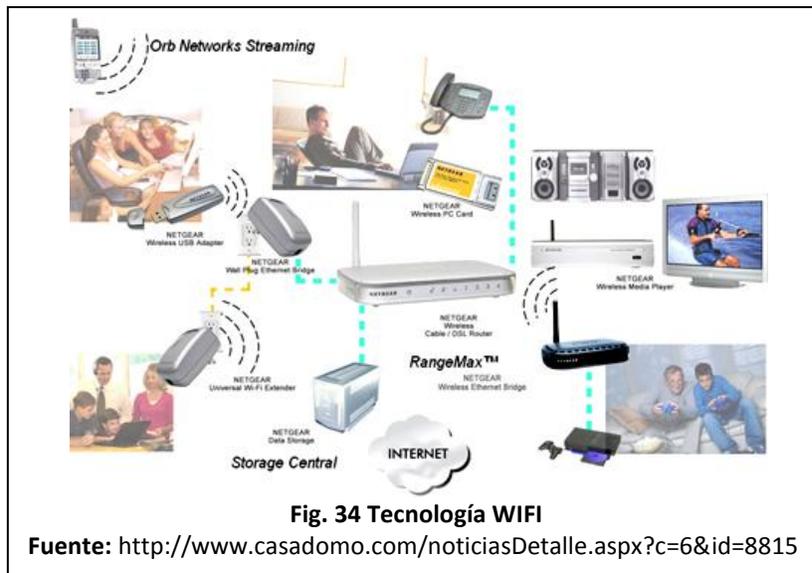
De hecho, con su velocidad y alcance se ha convertido en la fórmula perfecta para el acceso a internet sin cables.

Para tener una red inalámbrica en casa sólo necesitaremos un punto de acceso, que se conectaría al módem, y un dispositivo WIFI que se conectaría a nuestro equipo. Existen terminales WIFI que se conectan al PC por USB, pero son las tarjetas PCI insertadas directamente en la placa base con lo cual nos permite ahorrar espacio físico de trabajo y mayor rapidez. Para portátiles podemos encontrar tarjetas PCMI externas.

En cualquiera de los casos es aconsejable mantener el punto de acceso en un lugar alto para que la recepción/emisión sea más fluida. Incluso si encontramos que nuestra velocidad no es tan alta como

debería, quizás sea debido a que los dispositivos no se encuentren situados adecuadamente o puedan existir barreras entre ellos (como paredes, metal o puertas).

El funcionamiento de la red es bastante sencillo, normalmente sólo tendrás que conectar los dispositivos e instalar su software. Muchos de los enrutadores WIFI (routers WIFI) incorporan herramientas de configuración para controlar el acceso a la información que se transmite por el aire.

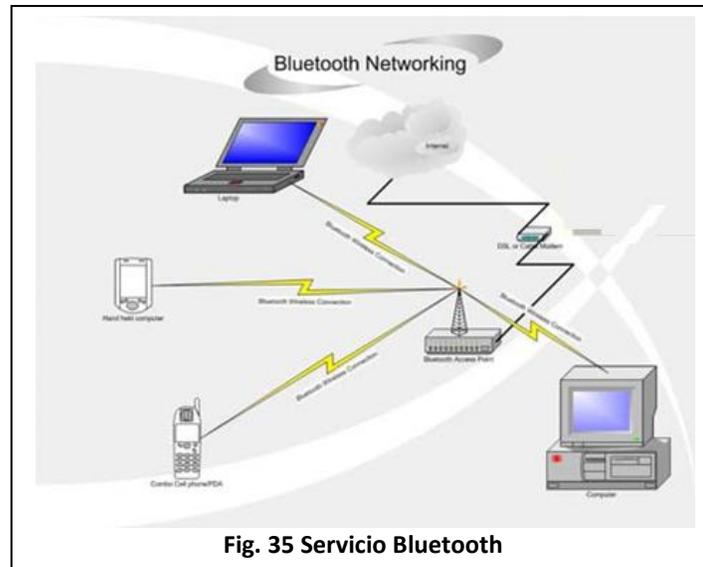


2.9 Bluetooth

Bluetooth, es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz.

La tecnología inalámbrica Bluetooth es un estándar global abierto para enlaces de radio, que ofrece conexiones inalámbricas económicas para transmisiones de voz y datos entre computadoras portátiles, dispositivos de mano, teléfonos celulares y varios aparatos más mediante un enlace de radiofrecuencia; así como acceso a otros recursos en la red. Esta diseñado como reemplazo inalámbrico y como tecnología de Red de Área Personal WPAN.

Esta tecnología define un enlace de radio de baja potencia, optimizado para conexiones seguras de corto alcance y define los pasos estándares para la conexión de varios equipos eliminando cables y conectores.



A grandes rasgos, es una especificación para la industria informática y de las telecomunicaciones que describe un método de conectividad móvil universal con el cual se pueden interconectar dispositivos como teléfonos móviles, Asistentes Personales Digitales (PDA), ordenadores y muchos otros dispositivos, ya sea en el hogar, en la oficina o, incluso, en el automóvil, utilizando una conexión inalámbrica de corto alcance. Es un estándar que describe la manera en la que una enorme variedad de dispositivos pueden conectarse entre sí, de una forma sencilla y sincronizada, con cualquier otro equipo que soporte dicha tecnología utilizando las ondas de radio como medio de transporte de la información. Técnicamente, la implementación de esta novedosa tecnología no representa ninguna complicación técnica especialmente problemática ni sofisticada. Tampoco supone que los nuevos dispositivos equipados con esta tecnología deban soportar profundas revisiones o modificaciones.

En sí, cada dispositivo deberá estar equipado con un pequeño chip que transmite y recibe información a una velocidad de 1 Mbps en la banda de frecuencias de 2,4 GHz que está disponible en todo el mundo, con ciertas particularidades según los diferentes países de aplicación, ya que es empleada en numerosos dispositivos.

Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática, como PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales.

Capítulo 3

Estándares IEEE

802.11 - WIFI



Capítulo 3: Estándares IEEE 802.11 – WIFI

IEEE desempeña sus funciones en la elaboración de normas y mantenimiento de estándares los cuales afectan a una amplia gama de industrias, incluyendo: la energía, biomedicina, salud, Tecnología de la Información (TI), las telecomunicaciones, el transporte, la nanotecnología, etc.

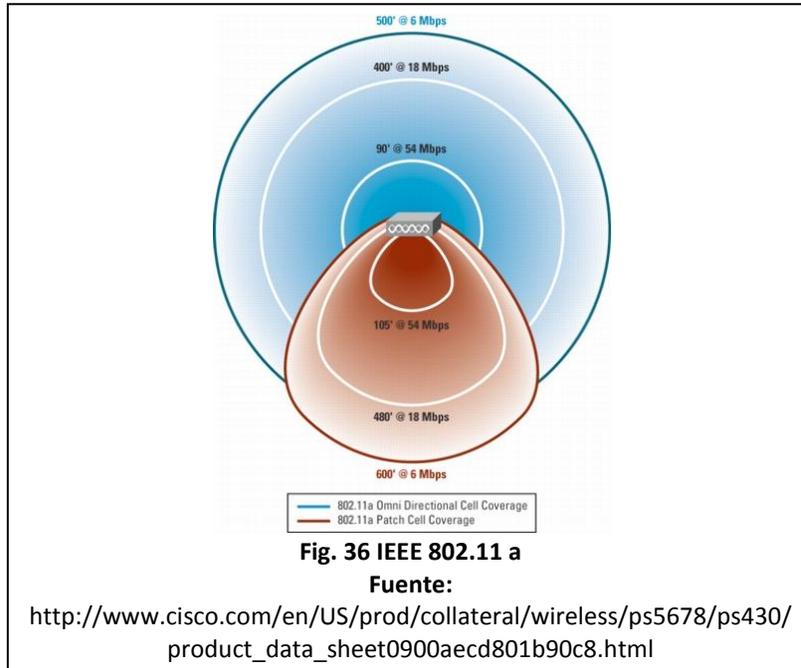
Las redes WLAN cumplen con los estándares genéricos aplicables al mundo de las LAN cableadas (IEEE 802.3 o equivalentes) pero necesitan una normativa específica adicional que defina el uso de los recursos radioeléctricos. Estas normativas específicas definen de forma detallada los protocolos de la capa física (PHY) y de la capa de Control de Acceso al Medio (MAC) que regulan la conexión vía radio.

El primer estándar de WLAN lo generó el organismo IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) en 1997 y se denomina IEEE 802.11. Desde entonces varios organismos internacionales han desarrollado una amplia actividad en la estandarización de las normativas WLAN y han generado una gama de nuevos estándares. En EE.UU. la actividad lo mantiene el organismo IEEE con los estándares 802.11 y sus variantes (b, g, a, e, h, etc.) y en Europa el organismo relacionado es el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) con sus estándares Hiperlan-BRAN.

Una LAN inalámbrica (WLAN) es una transmisión de datos diseñado para proporcionar la localización independiente de la red de acceso por medio de ondas de radio en lugar de una infraestructura de cable. En la empresa corporativa las LAN inalámbricas operan por lo general como la última opción entre el cable existente de red y un grupo de equipos cliente, dotando a estos usuarios acceso inalámbrico a recursos y servicios de la red corporativa.

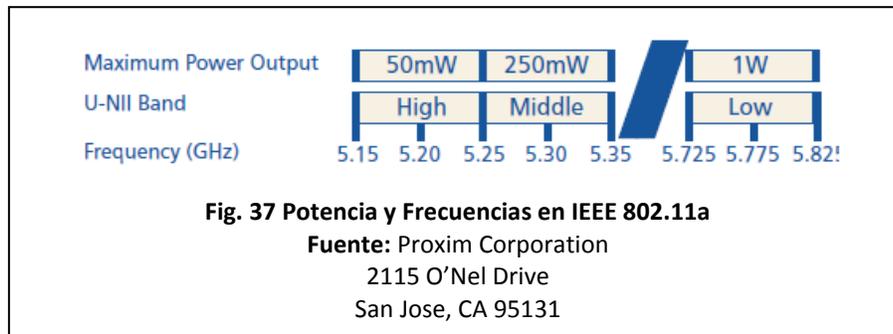
3.1 802.11a - Transmisión de Datos en la Banda de 5GHz a Alta Velocidad

El IEEE ha desarrollado en el estándar IEEE 802.11a, una nueva especificación que representa la una opción más apropiada para redes LAN inalámbricas de clase empresarial. Entre las ventajas que tiene sobre las actuales tecnologías son una mayor escalabilidad, mejor inmunidad a las interferencias, esto debido a que la mayor cantidad de redes inalámbricas opera en una frecuencia de 2.4 GHz, y velocidad significativamente mayor, de hasta 54 Mbps y más allá, que permite simultáneamente un incremento para aplicaciones de mayor ancho de banda.



La mayor desventaja es la incompatibilidad con los estándares IEEE 802.11 b y g más utilizados. Este estándar trabaja en la capa física (PHY) que es la interfaz entre el MAC y el medio inalámbrico.

La capa física



802.11a trabaja en la banda de 5 GHz de frecuencia, utiliza 300 MHz de ancho de banda en los 5 GHz sin licencia (U-NII¹³). La FCC¹⁴ ha dividido el total de 300 MHz en tres distintos dominios de 100 MHz, cada uno con una potencia máxima legal diferente de salida conocidos como bandas.

- La banda "baja" opera desde 5,15 hasta 5,25 GHz y tiene un máximo de 50 mW.
- La banda "medio" se encuentra desde 5,25 hasta 5,35 GHz, con un máximo de 250 mW.
- La banda "alta" utiliza 5,725 a 5,825 GHz, con un dispositivo máximo de 1 W.

¹³U-NII Infraestructura de la información nacional sin licencia

¹⁴ FCC Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América - organización del congreso. Aplica censura a medios como programas de radio o TV).

Debido a la salida de alta potencia, la transmisión en la banda alta tiende a construir y construir productos. Las bandas de baja y media son más adecuadas en la reacción de productos inalámbricos. Un requisito específico para la banda baja es que todos los dispositivos deben utilizar antenas integradas.

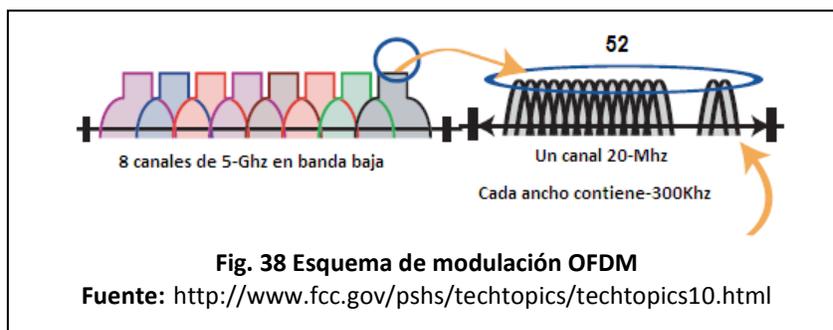
En las diferentes regiones del mundo se han asignado diferentes cantidades del espectro, la ubicación geográfica determinará qué parte de la banda de 5 GHz está disponible. En los Estados Unidos, la FCC ha asignado las 3 bandas para transmisiones sin licencia al igual que en Ecuador en el **Anexo C** se indican las frecuencias sobre las cuales trabaja este estándar. En Europa, sin embargo, sólo los grupos de banda baja y mediana son gratuitos. Aunque en Europa el estándar IEEE 802.11a aún no son certificables, los esfuerzos están actualmente en curso entre el IEEE y la Europea de Telecomunicaciones Standards Institute (ETSI) para rectificar esta situación. En Japón, sólo la banda baja puede ser utilizada. [24]

El margen de frecuencias utilizadas actualmente para la mayoría de las transmisiones sin licencia de clase empresarial, incluyendo 802.11b, es la 2,4 GHz. Esta banda muy poblada ofrece sólo 83 MHz de espectro para todo el tráfico inalámbrico, incluyendo teléfonos inalámbricos, las transmisiones de edificio a edificio, y los hornos microondas. En comparación, la de 300 MHz que ofrece en la banda U-NII representa un aumento de casi cuatro veces en el espectro; lo más impresionante cuando se considera que se limita el tráfico inalámbrico en la banda hoy en día.

Dentro de este estándar existe un concepto muy importante analizado a continuación:

- Esquema de modulación OFDM

“OFDM es una forma especial de modulación donde subportadoras llevan información en determinadas sub-bandas, compartiendo parte de su espectro, pero siendo diferenciables por propiedades de ortogonalidad”. [25] (24)



802.11a utiliza Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), un esquema de codificación que ofrece nuevas prestaciones a más del espectro ensanchado en el canal de disponibilidad y velocidad de datos. La disponibilidad de canales es importante porque cuantos más canales independientes estén disponibles, existe mayor escalabilidad en el enlace inalámbrico.

La alta velocidad de datos es lograda mediante la combinación de muchas subportadoras de baja velocidad para crear un canal de alta velocidad.

802.11a utiliza OFDM para definir un total de 8 canales que no se superponen, Canales de 20 MHz en la parte baja de 2 bandas, cada uno de estos canales se divide en 52 subportadoras, cada uno de aproximadamente 300 KHz

Tal como se describe anteriormente, 802.11a utiliza los canales que están a 20 MHz de ancho de banda real.

La gran cantidad de información por transmisión requiere un requisito importante, la protección contra la pérdida de datos, Forward Error Correction (FEC) se agrega a la especificación 802.11a para este fin. FEC consiste en el envío de una copia secundaria junto con la información primaria. Si una parte de la información primaria se pierde, entonces existe la seguridad de recuperar la información en el dispositivo receptor (A través de sofisticados algoritmos) los datos perdidos. De esta manera, aun cuando parte de la señal se pierde, la información se puede recuperar, es decir se recibe como está previsto, eliminando la necesidad de retransmitir. Debido a su alta velocidad, 802.11a puede acomodar esta sobrecarga con impacto insignificante en el rendimiento.

Otra amenaza para la integridad de la transmisión es la reflexión múltiple, también llamada delay spread¹⁵. Cuando una señal de radio sale del "emisor" de la antena, que irradia hacia afuera, extendiendo a medida que viaja. Si la señal se refleja en un piso, la señal original y la señal reflejada pueden llegar a la "recepción" de la antena al mismo tiempo. Dependiendo de cómo las señales se superponen, puede aumentar o anularse entre sí. Un procesador de banda base, o ecualizador, desenreda las señales divergentes. Sin embargo, si el retraso es lo suficientemente largo, se extiende

¹⁵ **Delay Spread** (Retrasar la propagación) Es un tipo de distorsión debido a múltiples resultantes de la salida de esparcimiento o de "manchas" de la señal recibida. Se produce cuando las señales idénticas llegan a través de diferentes caminos y con retrasos de tiempo diferentes.

la señal retardada en la siguiente transmisión. OFDM especifica una velocidad más lenta para reducir la posibilidad de que una señal choque con otras señales, minimizar la interferencia y el multicamino.

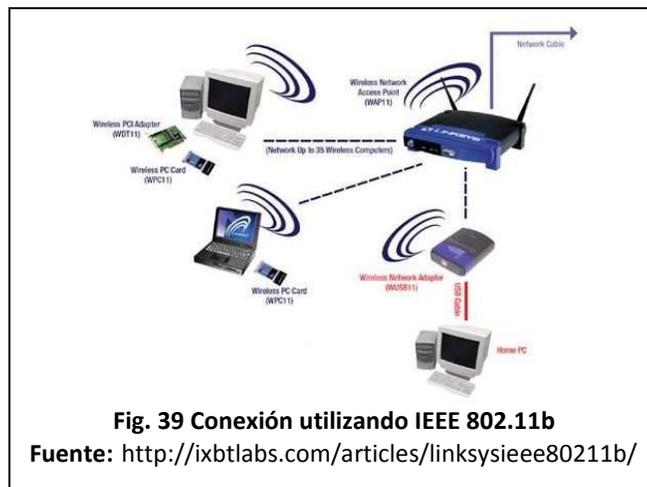
Capa MAC

La capa MAC ejecuta funciones que generalmente se realizan en niveles superiores, como es la retransmisión de paquetes, la fragmentación y el asentimiento. 802.11a utiliza el mismo Media Access Control (MAC), la tecnología de capa como 802.11b, el acceso múltiple de sentido de portador con la disminución de colisión (CSMA-CA). CSMA-CA es un protocolo básico que se utiliza para evitar la colisión y la cancelación de las señales el uno al otro. Su acción consiste en solicitar la autorización para transmitir por una cantidad específica de tiempo antes de enviar la información.

3.2 802.11b - Transmisión de Datos en la Banda de 2.4GHz

Fuera de los organismos de normalización inalámbrica líderes de la industria se han unido para formar el Wireless Compatibility Ethernet Alianza (WECA). WECA cuya misión es la de certificar entre proveedores la interoperabilidad y la compatibilidad de IEEE los productos 802.11b para redes inalámbricas y promover ese tipo de tecnología para la grandes y medianas empresas y también para el hogar.

Con 802.11b WLAN, los usuarios móviles pueden conseguir niveles de rendimiento de Ethernet, el rendimiento, y la disponibilidad. La tecnología permite a los administradores crear redes que combinan a la perfección más de una Tecnología LAN para adaptarse mejor a su negocio y las diferentes necesidades de los usuarios.



Alcanza una velocidad de 11 Mbps estandarizada por la IEEE y una velocidad de 22 Mbps ofrecida por algunos fabricantes no estandarizados. Opera dentro de la frecuencia de 2.4GHz.

La desventaja en este estándar es el alto grado de interferencia incluso en la transmisión en cuanto a la recepción de señales, porque funciona a una frecuencia 2.4 GHz, incluso en teléfonos móviles, microondas y dispositivos Bluetooth.

La ventaja es el bajo precio de sus dispositivos, al igual que el estándar IEEE 802.11a esta frecuencia también es gratuita y los equipos cuentan con dispositivos que trabajan con este estándar.

Los usuarios necesitan acceso a la red mucho más allá de sus escritorios personales. Las redes WLAN se ajustan bien en este ambiente de trabajo, dando a los mismos la libertad que tanto necesitan.

El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbit/s sobre TCP y 7.1 Mbit/s sobre UDP.

Aunque también utiliza una técnica de ensanchado de espectro basada en DSSS¹⁶, en realidad la extensión 802.11b introduce CCK (Complementary Code Keying) para llegar a velocidades de 5,5 y 11 Mbps (tasa física de bit). El estándar también admite el uso de PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) como opcional. Los dispositivos 802.11b deben mantener la compatibilidad con el anterior equipamiento DSSS especificado a la norma original IEEE 802.11 con velocidades de 1 y 2 Mbps.

3.3 802.11e - QoS - Calidad de Servicio

Las aplicaciones en tiempo real son ahora una realidad por las garantías de Calidad de Servicio (QoS) proporcionado por el estándar IEEE 802.11e. El objetivo del estándar es introducir nuevos mecanismos a nivel de capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de Calidad de Servicio. Para cumplir con su objetivo introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (HCF) con dos tipos de acceso:

- (EDCA) Enhanced Distributed Channel Access, equivalente a DCF (Función de Coordinación Distribuida). EDCA propone establecer canales diferenciados y distribuidos para los paquetes con 8 diferentes categorías de tráfico (CT). El tráfico de alta prioridad tiene una mayor probabilidad de ser enviado que el de baja prioridad. EDCA proporciona acceso libre de

¹⁶ El **espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)**, también conocido en comunicaciones móviles como **DS-CDMA (acceso múltiple por división de código en secuencia directa)**, es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan.

contención en el canal por un período llamado de Oportunidades de transmisión (TXOP). Un TXOP es un intervalo de tiempo limitado durante el cual una estación puede enviar como marcos la mayor cantidad posible (siempre y cuando la duración de las transmisiones no se extiendan más allá de la duración máxima de la TXOP). Si un cuadro es demasiado grande para ser transmitida en una sola TXOP, debe ser fragmentada en pequeños cuadros. [26]

- (HCCA) HCF Controlled Access, equivalente a PCF (Función de coordinación del punto). Es un sistema centralizado de mecanismos de acceso basado en canales de votación. El HCCA permite que CFP, se inicie en cualquier momento durante un CP. Este tipo de política se llama fase de acceso controlado (PAC). El PAC se inicia por la AP cada vez que quiera enviar una trama a una estación o recibir un fotograma de una estación de una manera libre de contención. La otra diferencia con el PCF es que clase de tráfico (TC) y flujos de tráfico (TS) se definen. Esto significa que la HC no se limita a hacer cola por la estación y puede proporcionar un tipo de servicio por sesión. Además, el HC puede coordinar estas corrientes o sesiones de cualquier manera que elija (y no sólo por turnos). La HC puede utilizar esta información para dar prioridad a una estación sobre otra, o mejor ajustar su mecanismo de programación. Durante el PP, el HC permite a las emisoras el enviar datos mediante el envío de marcos CF-Poll. Con el HCCA, la calidad de servicio se puede configurar con una gran precisión. [27]

No hay actualmente ningún mecanismo eficaz para priorizar el tráfico dentro de 802.11. Como resultado, el grupo de trabajo 802.11e es actualmente la refinación 802.11 MAC (Medium Access Layer) para mejorar la calidad de servicio para un mejor soporte de audio y vídeo en aplicaciones. Al ingresar IEEE 802.11e en la capa MAC, será común a todos los 802.11 PHY y por lo tanto será compatible con las actuales redes LAN inalámbricas 802.11.

3.4 802.11g - Transmisión de Datos Adicional Banda 2.4 GHz

En junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Que es la evolución del estándar 802.11b, Este utiliza la banda de 2.4 GHz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, que en promedio es de 22.0 Mbit/s de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó la compatibilidad entre los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación. Esto se debió en parte a que para construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar b, en el **Anexo D** podemos encontrar las frecuencias sobre las cuales trabaja este estándar.

Interacción de 802.11g y 802.11b.

802.11g tiene la ventaja de poder coexistir con los estándares 802.11a y 802.11b, esto debido a que puede operar con las Tecnologías RF (Radio Frecuencia), DSSS (Difusión de secuencia directa de espectro) y OFDM (multiplexación ortogonal por división de frecuencia.). Sin embargo, si se utiliza para implementar usuarios que trabajen con el estándar 802.11b, el rendimiento del ancho de banda inalámbrico se verá afectado por los diferentes estándares con los cuales trabajen, permitiendo una velocidad de transmisión de 22 Mbps. Esta degradación se debe a que los clientes 802.11b no comprenden OFDM.

A continuación se coloca un ejemplo para analizar el modo de trabajo entre la 802.11g y 802.11b en un equipo:

Suponiendo que se tiene un Access Point que trabaja con 802.11g, y actualmente se encuentran conectados un cliente con 802.11b y otro 802.11g, como el cliente 802.11b no comprende los mecanismos de envío de OFDM, el cual es utilizado por 802.11g, se presentarán colisiones, lo que hará que la información sea reenviada, degradando aún más nuestro ancho de banda.

Suponiendo que el cliente 802.11b no se encuentra conectado actualmente, el Access Point envía tramas que brindan información acerca del Access Point y la conexión inalámbrica. Sin el cliente 802.11b, en las tramas se verían la siguiente información:

NON_ERP present: no

Use Protection: no

ERP (Extended Rate Physical), esto hace referencia a dispositivos que utilizan tasas de transferencia de datos extendidos, en otras palabras, NON_ERP hace referencia a 802.11b. Si fueran ERP, soportarían las altas tasas de transferencia que soportan 802.11g.

Cuando un cliente 802.11b se asocia con el AP (Access Point), éste último alerta al resto de la red acerca de la presencia de un cliente NON_ERP. Cambiando sus tramas de la siguiente forma:

NON_ERP present: yes

Use Protection: yes

Ahora que la celda inalámbrica sabe acerca del cliente 802.11b, la forma en la que se envía la información dentro de la celda cambia, cuando un cliente 802.11g quiere enviar una trama, debe advertir primero al cliente 802.11b enviándole un mensaje RTS (Request to Send) a una velocidad de 802.11b para que el cliente 802.11b pueda comprenderlo. El mensaje RTS es enviado en forma de unicast. El receptor 802.11b responde con un mensaje CTS (Clear to Send).

Ahora que el canal está libre para enviar, el cliente 802.11g realiza el envío de su información a velocidades según su estándar. El cliente 802.11b percibe la información enviada por el cliente 802.11g como ruido.

La intervención de un cliente 802.11b en una red de tipo 802.11g, no se limita solamente a la celda del Access Point en la que se encuentra conectado, si se encuentra trabajando en un ambiente con múltiples AP en Roaming¹⁷, los AP en los que no se encuentra conectado el cliente 802.11b se transmitirán entre sí tramas con la siguiente información:

NON_ERP present: no

Use Protection: yes

La trama anterior les dice que hay un cliente NON_ERP conectado en uno de los AP, sin embargo, al tenerse habilitado Roaming, es posible que éste cliente 802.11b se conecte en alguno de ellos en cualquier momento, por lo cual deben utilizar los mecanismo de seguridad en toda la red inalámbrica, degradando de esta forma el rendimiento de toda la celda. Es por esto que los clientes deben conectarse preferentemente utilizando el estándar 802.11g. WiFi (802.11b / g)

¹⁷ **Roaming** se refiere a la capacidad de cambiar de un área de cobertura a otra sin interrupción en el servicio o pérdida en conectividad. Permite a los usuarios seguir utilizando sus servicios de red inalámbrica cuando viajan fuera de la zona geográfica en la que contrataron el servicio.
<http://www.masadelante.com/faqs/roaming>

3.5 802.11h - Espectro y Potencia en Europa - Banda 5 GHz

El propósito original de la norma IEEE 802.11h fue extender la operación de WLAN en Europa a la banda de 5 GHz, donde, la necesidad de dispositivos WLAN, selección de frecuencia dinámica (DFS) y de control de transmisión de potencia (TPC) permita coexistir con los principales usuarios de la banda, es decir, de radar y sistemas de satélites.

Las reglas para 802.11h fueron recomendadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) debido a los problemas que surgieron con la interferencia desde y hacia otros dispositivos, especialmente en Europa. Dos sistemas se utilizan para minimizar la interferencia. Selección dinámica de frecuencias (DFS), detecta la presencia de otros dispositivos en un canal y cambia automáticamente la red a otro canal, siempre y cuando dichas señales se detectan. De control de transmisión de potencia (TPC), reduce la radio-frecuencia (RF) de potencia de salida de cada transmisor de red a un nivel que reduzca al mínimo el riesgo de interferencia y de otros sistemas, al tiempo que permite el rendimiento satisfactorio de la red. [28][29][30]

Selección Dinámica de Frecuencias y Control de Potencia del Transmisor

DFS (Dynamic Frequency Selection) Es el proceso de detección de señales de radar que debe ser protegido frente a las interferencias 802.11a, y al detectar el cambio de la frecuencia de operación 802.11a a uno que no interfieren en los sistemas de radar y para asegurar una utilización uniforme de los canales disponibles.

TPC (Transmitter Power Control) Para asegurar que se respetan las limitaciones de potencia transmitida que puede haber para diferentes canales en una determinada región, de manera que se minimiza la interferencia con sistemas de satélite.

3.6 802.11i - Mejoras en Seguridad WIFI (WPA/WPA2)

Estándar que define la encriptación y la autenticación para complementar, completar y mejorar el WEP. Es un estándar que mejorará la seguridad de las comunicaciones mediante el uso del Temporal Key Integrity Protocol (TKIP).

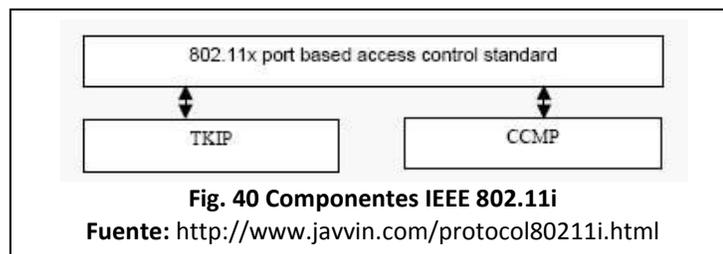
El estándar 802.11i está destinado a mejorar la seguridad en la transferencia de datos (al administrar y distribuir claves, y al implementar el cifrado y la autenticación). Este estándar se basa en el AES

(estándar de cifrado avanzado) y puede cifrar transmisiones que se ejecutan en las tecnologías 802.11a, 802.11b y 802.11g.

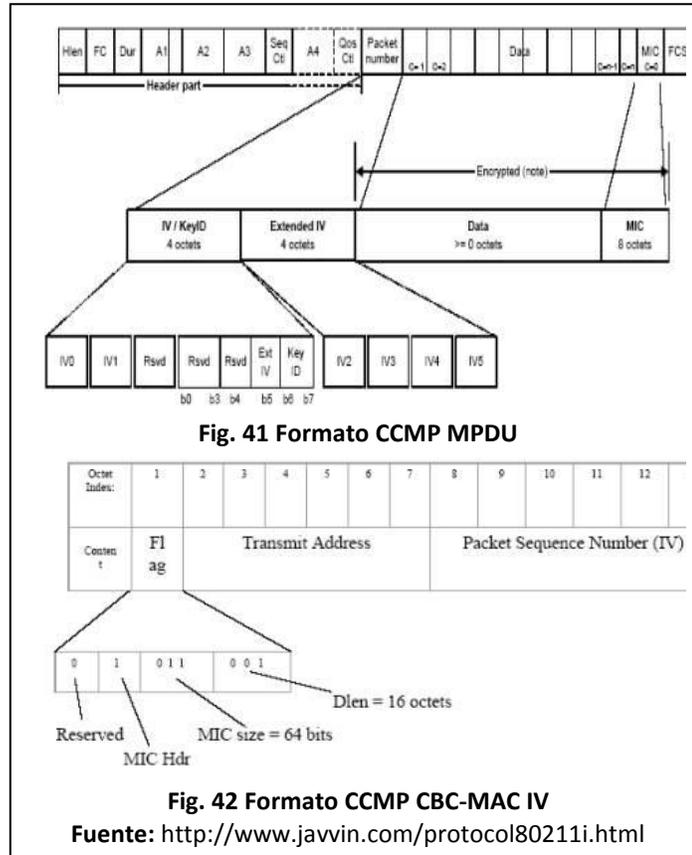
Por ahora, la posibilidad de obtener formas más fuertes de seguridad que van más allá de WEP mediante la aplicación de mecanismos de seguridad, propiedad de los puntos de acceso disponibles. El problema es que usted probablemente tendrá que implementar las tarjetas de red y puntos de acceso del mismo fabricante. Como mínimo, utilizar WEP.

El IEEE 802.11i tiene los siguientes componentes clave:

- ✓ Temporal Key Integrity Protocol (TKIP): Es un protocolo de confidencialidad de datos que fue diseñado para mejorar la seguridad de los productos implementados por WEP. TKIP utiliza un código de integridad del mensaje, que permite a los dispositivos autenticar los paquetes que vienen de la fuente. TKIP también utiliza una función de mezcla para derrotar a los ataques débiles.



- ✓ Counter-Mode/CBC-MAC Protocol (CCMP): un protocolo de confidencialidad de datos que maneja la autenticación de paquetes, así como el cifrado. CCMP utiliza AES en modo contador. Para la autenticación e integridad, CCMP utiliza Cipher Block Chaining Message Authentication Code (CBC-MAC). En IEEE 802.11i, CCMP utiliza una clave de 128 bits. CCMP protege a algunos campos que no están cifrados. Las partes adicionales de la especificación IEEE 802.11 que recibe protegidas se conoce como datos de autenticación adicional (AAD). AAD incluye la fuente de los paquetes de destino y protege contra los atacantes.



- ✓ IEEE 802.1x: Ofrece un marco eficaz para la autenticación y control de tráfico de usuarios a una red protegida, así como dinámicamente variables claves de cifrado. 802.1X ata a un protocolo denominado EAP (Extensible Authentication Protocol) tanto para el cableado y los medios de comunicación LAN inalámbrica y soporta múltiples métodos de autenticación.
- ✓ EAP sobre LAN (EAPOL) - Es el protocolo IEEE 802.1x clave en el intercambio de claves. Dos acciones principales EAPOL clave se definen en el estándar IEEE 802.11i. La primera se conoce como el protocolo de enlace de 4 vías y el segundo es la respuesta del grupo clave.

IEEE 802.11i al tener más de un protocolo de confidencialidad de datos, ofrece un algoritmo para la tarjeta del cliente IEEE 802.11i, y punto de acceso para negociar el protocolo a utilizar durante las circunstancias específicas de tráfico y para descubrir los parámetros de seguridad desconocidas.[31]

3.7 802.11k - Mediciones y Gestión de Radiofrecuencias en WIFI

El estándar IEEE 802.11k permite a los conmutadores y puntos de acceso inalámbricos calcular y valorar los recursos de radiofrecuencia de los clientes de una red WLAN, mejorando así su gestión. La

norma 802.11k proporciona información para descubrir el mejor punto de acceso disponible. [32][33]

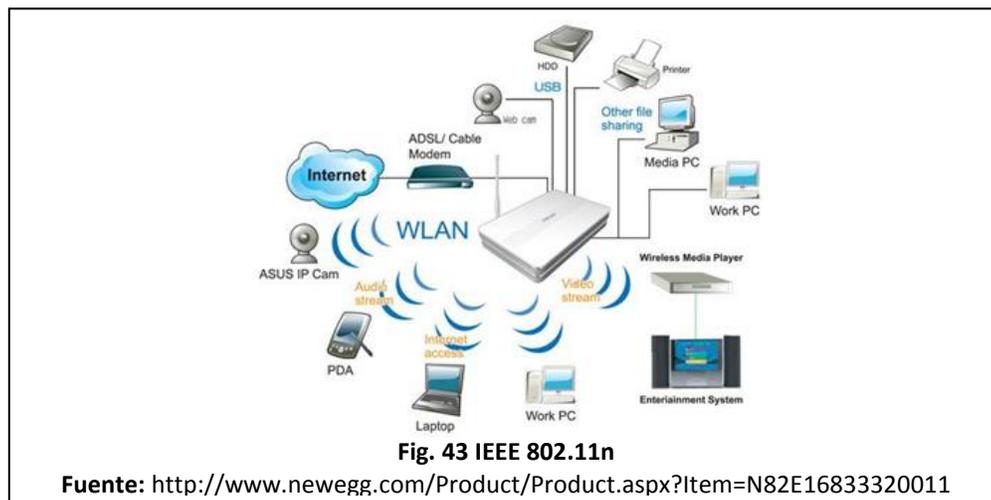
802.11k se destina a mejorar la forma de tráfico que se distribuye en una red. En una LAN inalámbrica, cada dispositivo que normalmente se conecta al punto de acceso (AP) que proporciona la señal más fuerte. Dependiendo del número y la ubicación geográfica de los abonados, este arreglo puede a veces conducir a una demanda excesiva sobre un AP y la subutilización de los demás, lo que resulta en la degradación de rendimiento de la red global. En una red que se ajuste a 802.11k, si la AP de la señal más fuerte se ha cargado a su máxima capacidad, un dispositivo inalámbrico está conectado a uno de los puntos de acceso subutilizados. A pesar de que la señal puede ser débil, el rendimiento general es mayor porque el uso eficiente de los recursos de red es mejor. [34]

Funcionamiento

802.11k proporciona prototipos de métricas que ayudan a conseguir redes wireless más eficientes, como los relativos a las mejores opciones de roaming para no interrumpir el servicio.

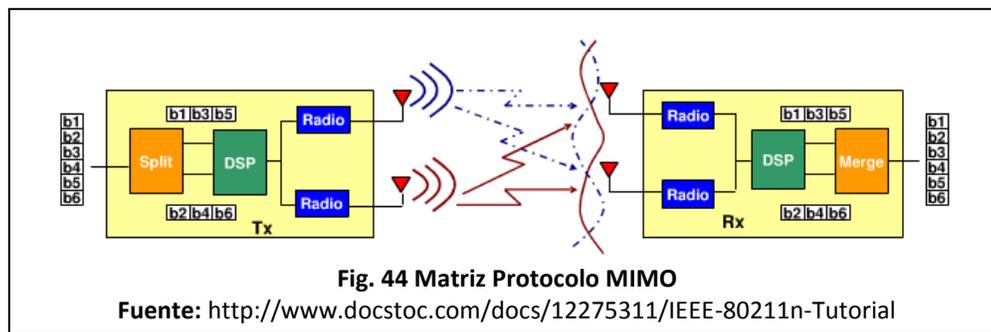
1. Cuando el punto de acceso determina que un cliente a él conectado se está saliendo de su área de servicio, informa al cliente para que se prepare para pasar a otro punto de acceso.
2. El cliente solicita al punto de acceso una lista de los mejores puntos de acceso cercanos.
3. El punto de acceso manda la información.
4. El cliente pasa inmediatamente al canal del punto de acceso idóneo y se conecta a él. Así, consigue un servicio inalámbrico interrumpido el mínimo tiempo posible.

3.8 802.11n - Transmisión de Datos - Altas Velocidades (MIMO)



En enero del 2004, el IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 (Tgn) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11 y fue ratificado en septiembre del 2009. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 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 unas 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar gracias a la tecnología MIMO Multiple Input – Multiple Output, que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas. Las ondas de Radio Frecuencia son "Multi-Señal" y siempre existe una onda primaria y varias secundarias.

El algoritmo MIMO, envía señal a 2 o más antenas y luego las recoge y re-convierte en una. Para el estándar wifi 802.11n funcionará en las bandas de 10, 20, o 40 MHz. y se alcanzarán velocidades superiores a 100 Mbps.



Una segunda tecnología incorporada en 802.11n y directamente ligada también al aumento del rendimiento es "channel bonding" (unión o emparejamiento de canales). Este sistema permite utilizar simultáneamente dos canales no-superpuestos como si se tratara de uno con el doble de capacidad, para transmitir los datos a mayor velocidad. Tales canales deben ser adyacentes o contiguos. Utilizando esta tecnología es posible sumar el ancho de banda de dos canales de 20 MHz para conseguir un enlace Wireless de 40 MHz.

En tercer lugar, 802.11n implementa una tecnología denominada agregación de paquete o "payload optimization", que, en términos sencillos, permite ingresar más datos en cada paquete transmitido.

A diferencia de las otras versiones de WiFi, 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a). Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de WiFi. Además, es útil que trabaje en la banda de 5 GHz, al tener menor interferencia y en 802.11n al permitir alcanzar un mayor

rendimiento. [35]

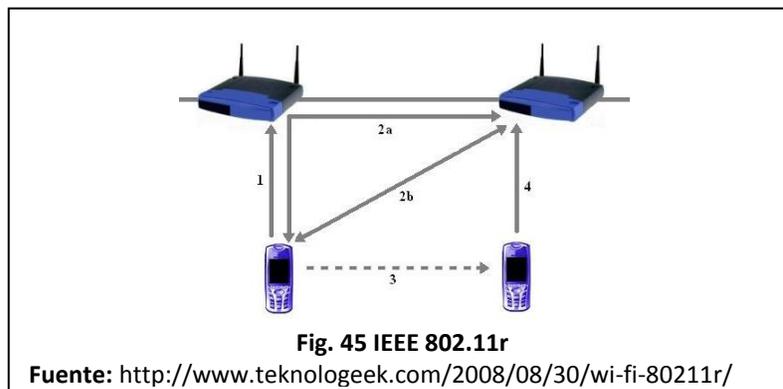
3.9 802.11p - WAVE (WIFI en vehículos)

IEEE 802.11p es un estándar aprobado al IEEE 802.11 para agregar acceso inalámbrico en entornos vehiculares (de onda). Define mejoras a 802.11 necesarias para apoyar Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). Esto incluye el intercambio de datos de alta velocidad entre vehículos y la infraestructura vial en la banda licenciada de ITS 5.9 GHz (5.85 a 5.925 GHz. IEEE 1609 es un estándar de capa superior en el que se basa IEEE 802.11p).

802.11p será utilizado como la base para comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC), especialmente para aplicaciones tales como cobro de peajes, servicios de seguridad de los vehículos, y las transacciones de comercio a través de los vehículos. La visión final es una red nacional que permite las comunicaciones entre vehículos y puntos de acceso en carretera u otros vehículos. [36]

Las redes ad-hoc vehiculares (VANET) centran actualmente el interés de numerosos grupos de investigación, ya que al dotar a los vehículos con capacidades de comunicación permitirá en un futuro a corto o medio plazo incrementar considerablemente la seguridad y proporcionar servicios de valor agregado a los pasajeros. El estándar IEEE 802.11p se encargará exclusivamente de la regulación de las capas física y de acceso al medio para estas redes. Gracias a la interoperabilidad que ofrecen diversos consorcios formados en torno a las VANET, se conseguirá compatibilizar el funcionamiento entre distintas marcas de vehículos, dando lugar a una arquitectura común a todo el parque de vehículos. [37]

3.10 802.11r - Fast Roaming



En realidad, el estándar original (802.11) fue concebido para ser utilizado únicamente con un punto de acceso. Por eso, cuando los dispositivos móviles pasan de un punto a otro, tardan algunos segundos en establecer una conexión y autenticarla debidamente. Este lapso resulta demasiado largo para mantener una comunicación de voz con una calidad aceptable.

El estándar IEEE 802.11r, permite a los dispositivos WiFi superar una de las barreras que limitan su utilización en lugares muy espaciados y con varios puntos de acceso, pudiendo estos desplazarse por distintas zonas de coberturas, sin necesidad de que el usuario deba reconectar en cada zona nueva.

El concepto que se utiliza para describir este aspecto es roaming o itinerancia, y básicamente es la posibilidad de vagar entre puntos de acceso, manteniéndose conectado.

El nuevo estándar, también conocido como Fast Basic Service Set Transition, respeta los requisitos estándares de la itinerancia de servicios de voz, la cual es de 50 ms. [38]

De este modo, cuando un dispositivo está saliéndose de un área de cobertura, intentará conectarse al punto de acceso más cercano que siga, reiterando esta acción cada vez que el punto de acceso al que está conectado pierda señal con respecto a la posición actual del dispositivo.

El estándar IEEE 802.11r especificará transiciones rápidas de BSS (“servicio básico fijado”). Esto permitirá conectividad a bordo de los vehículos en movimiento. Las transferencias se apoyan bajo puestas en práctica de “a”, de “b” y de “g”, pero solamente para los datos (que usan IEEE 802.11f o Protocolo del punto del Inter-Acceso comúnmente en los círculos sin hilos como IAPP). La entrega retrasada es demasiado larga a los usos de ayuda como voz y vídeo y representa un problema para las 802.11 conexiones seguras usando WPA2 o WPA.

El uso primario previsto actualmente para el estándar 802.11r es VOIP (telefonía basada en Internet) vía teléfonos móviles diseñados para trabajar con las redes de Internet sin hilos, en vez (o además) de redes celulares estándares.

Estos teléfonos móviles permitidos sin hilos/PDAs deben rápidamente poder conectarse con otro cuando exista una desconexión. El retraso que ocurre durante la transferencia no puede exceder cerca de 50 milisegundos, el intervalo que es perceptible por el oído humano.

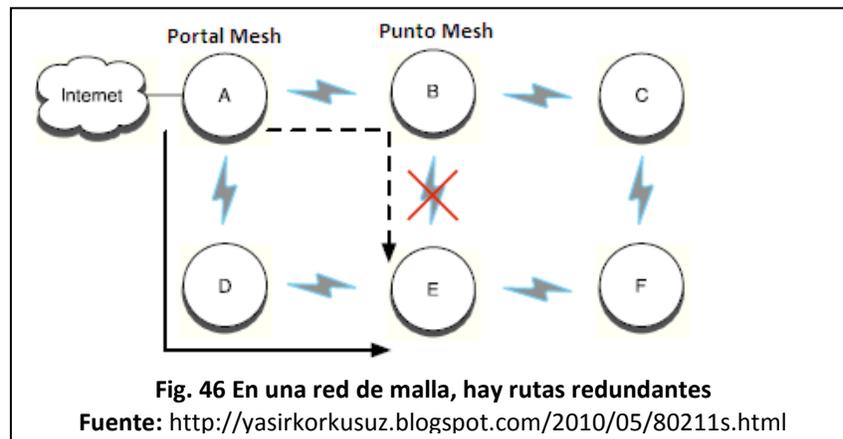
802.11r refina el proceso de transición de un cliente móvil mientras que se mueve entre los puntos de acceso. El protocolo permite que un cliente sin hilos establezca una seguridad y un estado de QoS en un nuevo punto de acceso antes de hacer una transición, que conduce a la pérdida de la conectividad

y a la interrupción mínima del uso. Los cambios totales al protocolo no introducen ninguna nueva vulnerabilidad de la seguridad. Esto preserva el comportamiento de estaciones y de puntos de acceso actuales.

3.11 802.11s - Redes Mesh / Wifi Municipal

802.11s es el estándar en desarrollo del IEEE para redes WiFi malladas, también conocidas como redes Mesh. La malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos, además al tener rutas redundantes si existe algún problema con el nodo este puede llegar por otro.

Las redes inalámbricas de malla proporcionan costos reducidos de infraestructura para redes de acceso que abarcan hasta cientos de kilómetros cuadrados reduciendo el uso de costosos puntos de cableados para acceso a Internet. Por otra parte, múltiples y redundantes rutas inalámbricas pueden ser rutas de fallas en la red.



En toda la ciudad las redes de malla se están convirtiendo en atractivos para las áreas metropolitanas de todos los tamaños y, por tanto, la remodelación de los roles tradicionales de redes de acceso municipal. Muchas ciudades ya han desplegado las redes de malla para ayudar a los servicios públicos y el personal de seguridad, por ejemplo, en Europa y en algunos países de América, para facilitar el acceso público a Internet de banda ancha en lugares donde existe dificultad para llegar.

Hay tres retos técnicos que el estándar 802.11s de malla debe resolver para que las implementaciones actuales y futuras efectivamente puedan proporcionar ancho de banda más grande de las áreas de cobertura.

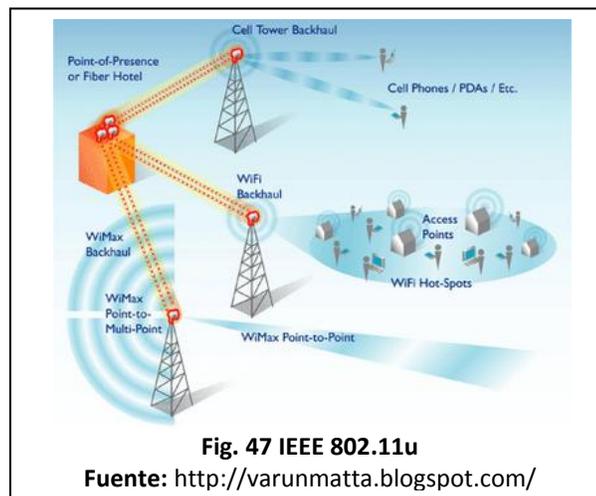
- El uso eficiente de los recursos limitados (capacidad y el tiempo), ya que los nodos

intermedios de malla se utiliza tanto para recibir y enviar datos a través de la malla.

- La protección y conservación de los recursos, tanto en la obtención de datos para aplicaciones sensibles y el ahorro de energía para el funcionamiento a largo plazo de dispositivos móviles inalámbricos.
- Proveer la equidad a través de la eliminación de sesgo espacial.

3.12 802.11u - Internetworking con otras Redes

El objetivo principal del Grupo de Tareas Especiales u 802,11 (TGU) consiste en abordar las cuestiones de interfuncionamiento entre una red de acceso IEEE 802.11 y cualquier red externa a la que está conectada. Un enfoque común, donde es necesario integrar las redes IEEE 802.11 de acceso con redes externas de forma genérica y estandarizada. [39]



IEEE 802.11u cubre los casos donde el usuario no tiene autorización previa. Una red será capaz de permitir el acceso basado en la relación del usuario con una red externa (por ejemplo, acuerdos de punto de acceso móvil), o indicar que la inscripción en línea es posible, o permitir el acceso a un conjunto de servicios, estrictamente limitado tales como servicios de emergencia.

Desde la perspectiva del usuario, el objetivo es mejorar la experiencia de un usuario de viaje que se convierte en un ordenador portátil en un hotel de muchos kilómetros lejos de casa. En lugar de ser presentado con una larga lista de SSID que el usuario puede presentarse con una lista de redes, los servicios que prestan y las condiciones bajo las cuales el usuario puede acceder a ellos.

3.13 802.11v - Access Point, Gestión de Clientes (MIB)

IEEE 802.11v servirá para permitir la configuración remota de los dispositivos cliente. Esto permitirá una gestión de las estaciones de forma centralizada (similar a una red celular) o distribuida, a través de un mecanismo de capa 2. [40] Esto incluye, por ejemplo, la capacidad de la red para supervisar, configurar y actualizar las estaciones cliente. Además de la mejora de la gestión, las nuevas capacidades proporcionadas por el 11v se detallan en cuatro categorías:

- ✓ Mecanismos de ahorro de energía con dispositivos de mano VoIP y WiFi.
- ✓ Posicionamiento, para proporcionar nuevos servicios dependientes de la ubicación.
- ✓ Temporización, para soportar aplicaciones que requieren un calibrado muy preciso.
- ✓ Coexistencia, que reúne mecanismos para reducir la interferencia entre diferentes tecnologías en un mismo dispositivo.

802.11v es la dirección de la red sin hilos estándar para la familia de IEEE 802.11 de estándares. El TGv permite la configuración de los dispositivos del cliente mientras que está conectado con redes. La idea detrás de esta especificación, es administrar de forma inteligente las conexiones que no estén siendo usadas, para desconectar los radios que utiliza, ya sea que estos estén en un dispositivo conectado, o bien el router inalámbrico. Esto permitiría un ahorro notable en los dispositivos, permitiendo entonces incrementar su autonomía de uso algo que se presenta como un beneficio indirecto de esta especificación.

Por otro lado, también contempla la posibilidad de activar dispositivos directamente desde WLAN, permitiendo así tomar control de forma inalámbrica, sin necesidad de dejar que estos queden encendidos por largos periodos sin ser usados (sólo usando energía cuando realmente se necesita).

El estándar no sólo está enfocado en lo ecológico, sino que también pretende ofrecer mejoras respecto a la administración de las redes (otorgando información más detallada sobre su performance), como también abriendo las puertas a servicios de localización. [41][42]

3.14 802.11w - Seguridad de Paquetes de Management

TGw está trabajando en mejorar la capa del control de acceso al medio de IEEE 802.11 para aumentar la seguridad de los protocolos de autenticación y codificación. Las LANs inalámbricas envían la información del sistema en tramas desprotegidos, que los hace vulnerables. [43] Este estándar podrá

proteger las redes contra la interrupción causada por los sistemas malintencionados que crean peticiones desasociadas que parecen ser enviadas por el equipo válido. Se intenta extender la protección que aporta el estándar 802.11i más allá de los datos hasta las tramas de gestión, responsables de las principales operaciones de una red. Estas extensiones tendrán interacciones con IEEE 802.11r e IEEE 802.11u.

Este estándar proporcionará tres tipos de protección. La primera asegurará las tramas de gestión unicast o tramas entre un punto de acceso y un cliente. Al informar de la topología de red y modificar el comportamiento del cliente, las tramas de gestión unicast sin protección se convierten en un atractivo objeto de ataque para descubrir la configuración de la red, localizar los dispositivos y organizar ataques de denegación de servicio (DoS). 802.11w aborda el problema llevando los actuales algoritmos de encriptación de datos a las tramas de gestión unicast, mediante el uso de Temporal Key Integrity Protocol o algoritmos basados en AES (Advanced Encryption Standard), a fin de protegerse contra falsificaciones y proporcionar confidencialidad.

El segundo método es la protección de las tramas de gestión en modo broadcast, menos comunes y normalmente utilizadas para ajustar las propiedades de la frecuencia de radio o para iniciar la medición. Como este tipo de información no es crítica, a este nivel 802.11w protege sólo contra falsificaciones, sin proporcionar confidencialidad. La propuesta más simple se basa en incorporar a la trama de gestión un código de integridad del mensaje. Un punto de acceso comparte una clave con todos los clientes asociados de forma segura, y todos ellos pueden ver el mensaje; sin embargo, la clave impide que dispositivos ajenos a la red falsifiquen mensajes.

El tercer método consiste en la protección de las tramas de “disociación” y “desautenticación”. Utilizando un par de claves de uso único relacionadas, el cliente puede determinar si la desautenticación es válida. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que este esquema puede presentar problemas a los usuarios que utilicen sistemas de prevención de intrusiones. En general, 802.11w promete remediar los problemas de seguridad creados por el nuevo flujo de información sensible que transportan las tramas de gestión en entornos inalámbricos. Protegiéndolas de intrusos y falsificaciones, 802.11w frenará la fuga de información y reducirá algunos ataques DoS básicos.



Capítulo 4

Redes Mesh



Capítulo 4: Redes Mesh

4.1 Introducción a las redes inalámbricas

En los últimos años las redes inalámbricas han ganado mucha popularidad, y su crecimiento surge conforme sus prestaciones aumentan y se descubren nuevas aplicaciones para ellas.

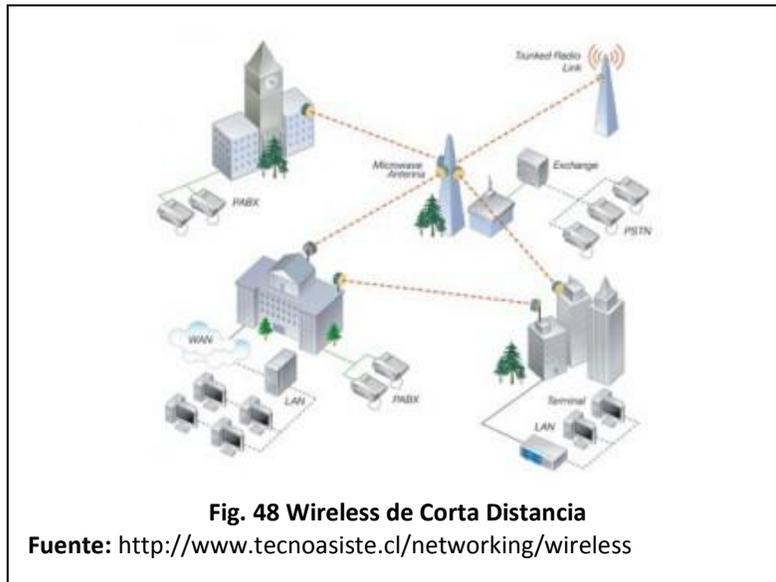
Las Redes Inalámbricas facilitan la operación en lugares donde los diferentes dispositivos como las pcs no pueden permanecer en un solo lugar o requieren mayor movilidad de acuerdo a las diferentes necesidades de los usuarios, además permite llegar a lugares más alejados de la ciudad.

La idea con esta tecnología no es llegar a remplazar a las redes cableadas, inclusive sería casi imposible debido a que las redes cableadas ofrecen velocidades de transmisión mayores que las logradas con la tecnología inalámbrica. Sin embargo se pueden mezclar las redes cableadas y las inalámbricas, generando una "Red Híbrida" y de esta forma solventar la comunicación hacia la estación central. Se puede considerar que el sistema cableado sea la parte principal y la red inalámbrica le proporcione movilidad adicional al equipo y el usuario se pueda desplazar con facilidad dentro de un determinado lugar.

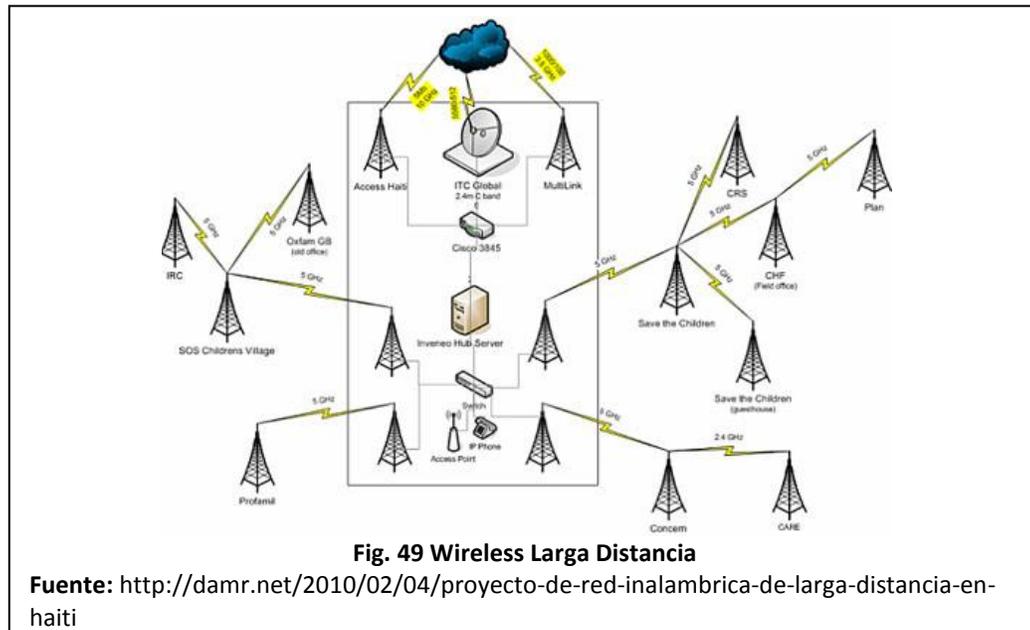
Se debe tener claro que el comportamiento de este tipo de redes es similar a una red cableada, aunque la forma de acceder a esta y la seguridad al acceso pueden variar. Uno de los principales problemas en el uso de redes inalámbricas es sin duda la seguridad que puede o no ofrecer protección contra intrusos pero esto debido a los grandes avances y a los equipos y software existentes en el mercado poco a poco está disminuyendo.

Existen dos amplias categorías de Redes Inalámbricas:

De Corta Distancia.- Estas son utilizadas principalmente en redes corporativas cuyas oficinas se encuentran en uno o varios edificios no muy alejados entre sí.



De Larga Distancia.- Estas son utilizadas para transmitir la información en espacios que pueden variar desde una misma ciudad o hasta varios países conjuntos (Redes de Área Metropolitana MAN).



Existen dos tipos de redes de larga distancia: Redes de Conmutación de Paquetes (públicas y privadas) y Redes Telefónicas Celulares. Estas últimas son un medio para transmitir información de alto precio.

Debido a que los módems celulares actualmente son más caros y delicados que los convencionales, y requieren un circuito especial, que permite mantener la pérdida de señal cuando el circuito se alterna entre una célula y otra. Esta pérdida de señal no es problema para la comunicación de voz debido a que el retraso en la conmutación dura unos cuantos cientos de milisegundos, lo cual no se nota, pero en la transmisión de información puede haber pérdidas.

La otra opción que existe en redes de larga distancia son las denominadas: Red Pública De Conmutación De Paquetes Por Radio. Estas redes no tienen problemas de pérdida de señal debido a que su arquitectura está diseñada para soportar paquetes de datos en lugar de comunicaciones de voz. Las redes privadas de conmutación de paquetes utilizan la misma tecnología que las públicas, pero bajo bandas de radio frecuencias restringidas por la propia organización de sus sistemas informáticos.

Ventajas de Redes Inalámbricas

- **Accesibilidad:** Todos los equipos portátiles y la mayoría de los teléfonos móviles de hoy día vienen equipados con la tecnología WiFi necesaria para conectarse directamente a una LAN inalámbrica. Los usuarios puede acceder de forma segura a sus recursos de red desde cualquier ubicación dentro de su área de cobertura.
- **Movilidad:** Los usuario pueden permanecer conectados a la red incluso cuando no se encuentren en sus oficinas. Los asistentes de una reunión pueden acceder a documentos y aplicaciones. Los usuarios pueden conectarse a la red para obtener información importante desde cualquier ubicación.
- **Productividad:** El acceso a la información y las aplicaciones clave de cualquier lugar ayudan a su personal a realizar su trabajo y fomenta la colaboración. Los visitantes podrían disponer de un usuario con acceso seguro a Internet y a la información que requiera ya sea de la empresa o institución.
- **Fácil configuración:** Al no tener que colocar cables físicos en una ubicación, la instalación puede ser más rápida y rentable. Las redes LAN inalámbricas también facilitan la conectividad de red en ubicaciones de difícil acceso, como por ejemplo en zonas rurales las cuales no son punto de interés para los proveedores de internet.

- Escalabilidad: Conforme crecen sus operaciones comerciales, puede que necesite ampliar su red rápidamente. Generalmente, las redes inalámbricas se pueden ampliar con el equipo existente, mientras que una red cableada puede necesitar cableado adicional.
- Seguridad: El control y la administración del acceso a su red inalámbrica es un punto fundamental e importante. Los avances en tecnología WiFi proporcionan protecciones de seguridad sólidas para que sus datos sólo estén disponibles para los usuarios a los que le permita el acceso.
- Costos: Con una red inalámbrica puede reducir los costos, ya que se eliminan o se reducen los costos de cableado durante los traslados de oficina, nuevas configuraciones o expansiones.

4.1.1 Tipos de redes inalámbricas

Las redes inalámbricas se pueden clasificar en diferentes tipos en función de las distancias a través de las que se pueden transmitir los datos.

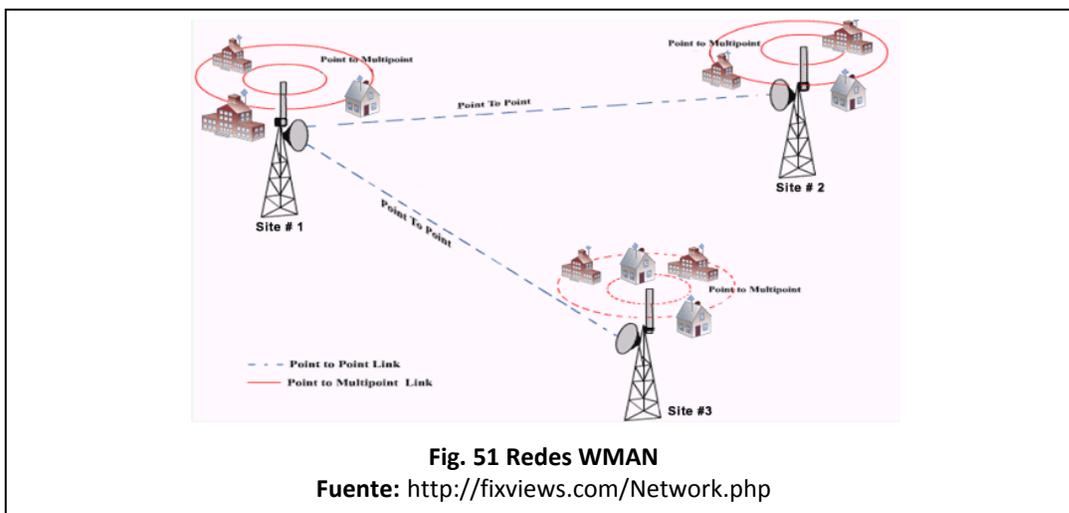
Redes de área extensa inalámbricas (WWAN)

Las tecnologías WWAN permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas a través de redes remotas públicas o privadas. Estas conexiones pueden mantenerse a través de áreas geográficas extensas, como ciudades o países, mediante el uso de antenas en varias ubicaciones o sistemas satelitales que mantienen los proveedores de servicios inalámbricos. Las tecnologías WWAN actuales se conocen como sistemas de segunda generación (2G). Entre los sistemas 2G principales se incluyen Global System for Mobile Communications (GSM), Cellular Digital Packet Data (CDPD) y Code Division Multiple Access (CDMA). Los esfuerzos van encaminados a la transición desde redes 2G, algunas de las cuales tienen capacidades limitadas de movilidad y son incompatibles entre sí, a tecnologías de tercera generación (3G) que seguirían un estándar global y proporcionarían capacidades de movilidad internacional.



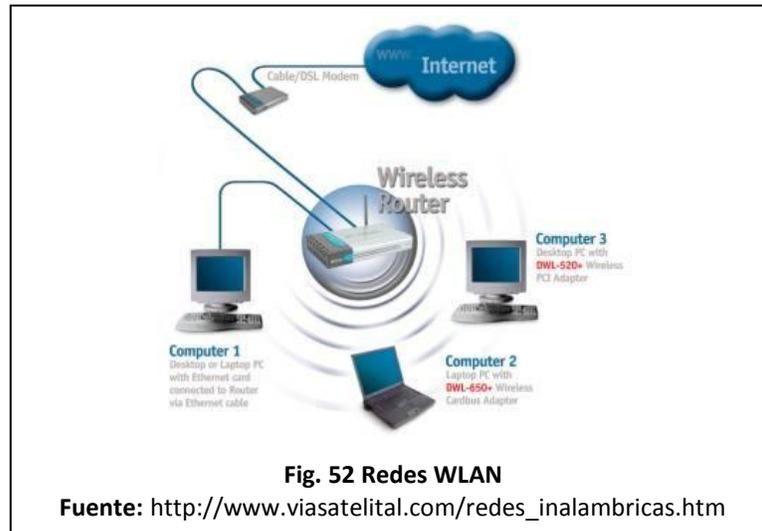
Redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN)

Las tecnologías WMAN permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas entre varias ubicaciones dentro de un área metropolitana (por ejemplo, entre varios edificios de oficinas de una ciudad o en un campus universitario), sin el alto coste que supone la instalación de cables de fibra o cobre y el alquiler de las líneas. Además, WMAN puede servir como backup de seguridad para las redes con cable, en caso de que las líneas principales no estén disponibles. WMAN utiliza ondas de radio o luz infrarroja para transmitir los datos. Las redes de acceso inalámbrico de banda ancha, que proporcionan a los usuarios acceso de alta velocidad a Internet, tienen cada vez mayor demanda. Aunque se están utilizando diferentes tecnologías, como el servicio de distribución multipunto de canal múltiple (MMDS) analizados, en el capítulo 2 y los servicios de distribución multipuntos locales (LMDS).



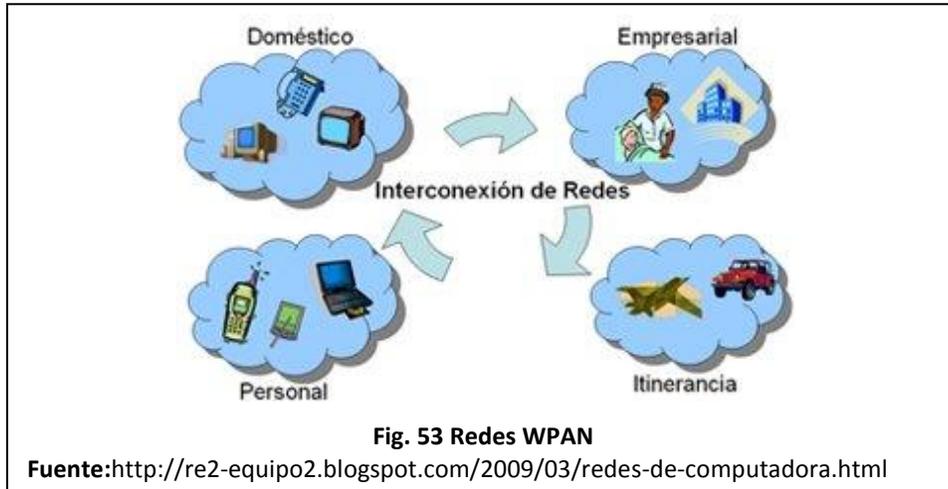
Redes de área local inalámbricas (WLAN)

Las tecnologías WLAN permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas dentro de un área local (por ejemplo, un edificio o campus empresarial, o en un espacio público como un aeropuerto). Las WLAN se pueden utilizar en oficinas temporales u otros espacios donde la instalación extensa de cable sería prohibido, o para complementar una LAN existente de modo que los usuarios pueden trabajar en diferentes lugares dentro de un edificio a diferentes horas. Las WLAN pueden operar de dos formas distintas. En las WLAN de infraestructura, las estaciones inalámbricas (radios o routers, tarjetas de red o módems externos) se conectan a puntos de acceso inalámbrico que funcionan como puentes entre las estaciones y la red troncal existente. En las WLAN de igual a igual (ad hoc), varios usuarios dentro de un área limitada, como una sala de conferencias, pueden formar una red temporal sin utilizar puntos de acceso, si no necesitan obtener acceso a recursos de red.



Redes de área personal inalámbricas (WPAN)

Las tecnologías WPAN permiten a los usuarios establecer comunicaciones inalámbricas ad hoc para dispositivos (como PDA, teléfonos celulares y equipos portátiles) que se utilizan dentro de un espacio operativo personal (POS). Un POS es el espacio que rodea a una persona, hasta una distancia de 10 metros. Actualmente, las dos tecnologías WPAN principales son Bluetooth y la luz infrarroja.



Funcionamiento

El funcionamiento de una red inalámbrica es muy similar al funcionamiento de los teléfonos móviles. Por un lado, se dispone de equipos de usuario: cualquier ordenador con una tarjeta de red inalámbrica instalada (en sus diferentes versiones: USB, PCMCIA, PCI).

Por el otro, se encuentran los equipos de acceso (denominados también puntos de acceso), que son los encargados de proporcionar la "cobertura" a los equipos de usuario y permitir a los usuarios acceder a los distintos recursos de la red (páginas web, servidores de ficheros, etc.).

4.2 Capa PHY y MAC

La capa MAC que es la encargada de coordinar el acceso al medio está compuesta de 3 subcapas:

- Service-Specific Convergence Sublayer (CS): Se encarga de transformar los datos de las redes externas y pasarlos a la MAC CPS convertidos en service data units (SDU), que son las unidades de datos que se transfieren entre capas adyacentes. Se encuentra sobre la MAC CPS y utiliza los servicios proveídos por ésta.
- MAC Common Part Sublayer (MAC CPS): Es el core de toda la capa MAC, provee los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión. En esta subcapa se prestan los servicios de planificación, que representan los mecanismos de manipulación de datos soportados por el planificador de la MAC para el transporte de datos en una conexión, cada una de las cuales está asociada a un servicio de datos el cual a su vez, está asociado a

unos parámetros de QoS que son quienes determinan su comportamiento. Existen cuatro tipos de servicios:

- ✓ Concesión no Solicitada (UGS)
- ✓ Polling en tiempo real (rtPS)
- ✓ Polling no en tiempo real (nrtPS)
- ✓ Mejor Esfuerzo (BE)

· Security Sublayer: Presta los servicios de autenticación, intercambio seguro de claves y cifrado. Permite proveer a los usuarios un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión fija mediante el cifrado de las conexiones, y al operador protegerse contra las conexiones no autorizadas forzando el cifrado.

La capa MAC es orientada a la conexión. Para propósitos de relacionar los servicios a las SS y asociarlos a los diferentes niveles de calidad de servicio (QoS), todas las comunicaciones de datos están en el contexto de una conexión. El flujo de servicio debe ser suministrado en el momento en el que la SS se instala en el sistema y justo después de que se registra; las conexiones se deben asociar a ese flujo de servicio para tener una referencia al hacer las peticiones de ancho de banda. El flujo de servicio define los parámetros de QoS de los packet data units (PDU) que se intercambian durante la conexión.

En las redes inalámbricas multi-salto, un paquete tiene que ser transmitido por muchos nodos intermedios. Siempre que un nodo intermedio recibe un paquete para la transmisión, se tiene que realizar una búsqueda de la capa IP, Address Resolution Protocol (ARP) de las operaciones de búsqueda y luego luchar por el canal en la capa MAC en cada salto. Este largo proceso aumenta retardo de extremo a extremo y también aumenta la probabilidad de pérdida de paquetes. En consecuencia, los esfuerzos de investigación sigue siendo necesario para sugerir algunos cambios en los protocolos de la capa MAC para acelerar el proceso de reenvío de paquetes. En WMNS, para el router de malla, el poder ya no es una limitación y, en consecuencia, el enfoque de los protocolos de capa MAC debe ser hacia el logro de un mayor rendimiento en lugar de conservación de la energía.

Otra cuestión importante es la calidad de servicio de aprovisionamiento. El escenario previsto de WMN espera el soporte de aplicaciones, acceso a Internet de banda ancha y las aplicaciones en tiempo real, tales como streaming de vídeo y conferencias de voz. La provisión de QoS para aplicaciones es un requisito fundamental y una cuestión de desafío clave.

Capa Física

Para esta capa se han definido cinco especificaciones diferentes, para satisfacer las necesidades de las diferentes aplicaciones específicas:

- ✓ WirelessMAN-SC PHY
- ✓ WirelessMAN-SCa PHY
- ✓ WirelessMAN-OFDM PHY
- ✓ WirelessMAN-OFDMa PHY

Estas especificaciones están diseñadas para las diferentes bandas de frecuencia y enlaces NLos con los tipos de multiplexación TDD, FDD, OFDM, los valores dependerán de la técnica de modulación utilizada la cual puede ser QPSK, 16-QAM, 64 QAM, 256-QAM Y BPSK y de la especificación elegida.

Los tipos de datos compatibles en la capa física están aumentando rápidamente. Sin embargo, estos tipos de datos sólo se logran teóricamente en condiciones de ambiente perfecto sin interferencia alguna. En un entorno real, estas condiciones ideales rara vez existen. A medida que aumenta la distancia, la señal / ruido (SNR) disminuye. Por lo tanto para evitar la interferencia se utilizan técnicas de modulación precisa y representa uno de los principales desafíos en el campo de la red inalámbrica.

El Control de potencia es otro aspecto interesante. Dado que los nodos WMNS pueden colocarse en cualquier lugar, el control de topología se vuelve importante. Por lo general, la asignación de potencia óptima para el control de la topología puede reducir la interferencia y, como consecuencia, pueden ayudar a mejorar el rendimiento de la red en general. Al tener control sobre los parámetros de la potencia de transmisión, modulación y potencia de la señal ayudará a optimizar el rendimiento de la red global.

4.3 Protocolos de encaminamiento

Encaminamiento es la función de buscar un camino entre todos los posibles en una red de paquetes cuyas topologías poseen una gran conectividad. Dado que se trata de encontrar la mejor ruta posible, lo primero es definir qué se entiende por mejor ruta y en consecuencia cuál es la métrica que se debe utilizar para medirla.

Mejor Ruta

Entendemos por mejor ruta aquella que cumple las siguientes condiciones:

- Consigue mantener acotado el retardo entre pares de nodos de la red.

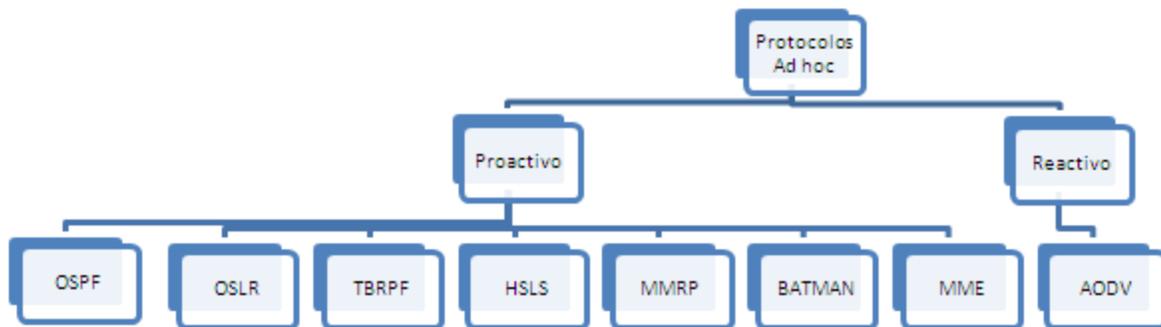
- Consigue ofrecer altas medidas efectivas independientemente del retardo medio de tránsito
- Permite ofrecer el menor costo.
- El criterio más sencillo es elegir el camino más corto, es decir la ruta que pasa por el menor número de nodos. Una generalización de este criterio es el de “coste mínimo”. En general, el concepto de distancia o coste de un canal.

Métrica de la red

Puede ser por ejemplo el número de saltos necesarios para ir de un nodo a otro.

Dependiendo de la manera en la cual el protocolo controla los enlaces y sus estados, distinguimos dos tipos principales: proactivo y reactivo.

Proactivo Manejo por tablas



Un protocolo proactivo depende principalmente de la transmisión regular de paquetes de control, teniendo la ventaja de no generar ninguna carga adicional para la creación de rutas, porque su carga fija generada por la transmisión de los paquetes de control incluye el coste de la creación de la ruta [44].

Están caracterizados por chequeos proactivos del estado del enlace y actualización de tablas de enrutamiento, la cual lleva a una alta complejidad y carga de CPU, pero también a un alto rendimiento.

Dentro de los cuales consideramos los siguientes protocolos:

- B.A.T.M.A.N. (Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking)
- OSPF (Open Shortest Path First)(basado en la ruta más corta)
- OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) Protocolo de enrutamiento por enlaces optimizados OLSREXT, QOLSR.
- MME (Mesh Made Easy)

- TBRPF (Topology Broadcast based on Reverse Path Forwarding routing protocolo) Protocolo de transmisión basado en el reenvío por camino invertido
- HSLS (Hazy Sighted Link State routing protocol) Protocolo de enrutamiento basado en desechar los enlaces de baja calidad
- MMRP (Mobile Mesh Routing Protocol), short: MobileMesh

Comenzaremos explicando los protocolos Proactivos:

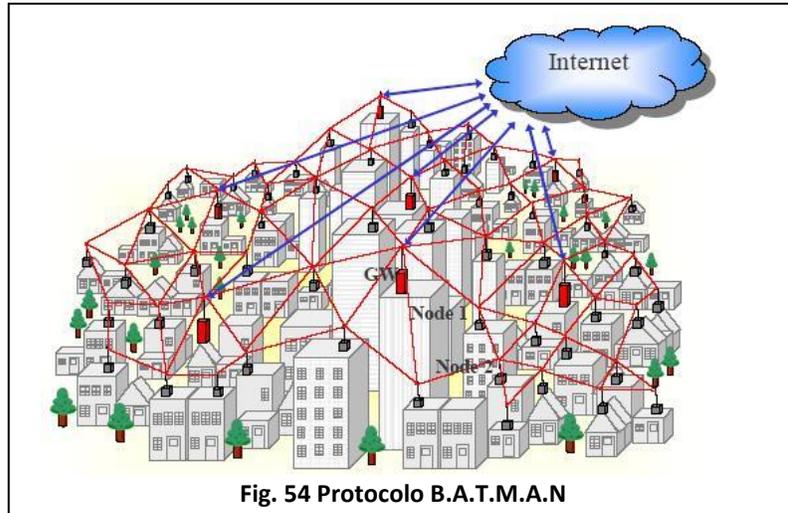
4.3.1 Protocolo de Ruteo de Redes Mesh B.A.T.M.A.N.

B.A.T.M.A.N. (Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking)

B.A.T.M.A.N. es un protocolo de ruteo proactivo para Redes Mesh Ad-hoc Inalámbricas, incluyendo las redes ad-hoc móviles (MANETs). El protocolo mantiene proactivamente información sobre la existencia de todos los nodos en la malla, que son accesibles a través de enlaces de comunicación de uno o múltiples saltos. La estrategia de B.A.T.M.A.N. es determinar para cada destino en la malla un vecino de un salto, el cual puede ser utilizado como mejor Gateway para comunicarse con el nodo de destino. Para poder realizar un ruteo de múltiple salto basado en IP, la tabla de ruteo de un nodo debe contener un Gateway para cada host o ruta de red. Al algoritmo B.A.T.M.A.N le importa únicamente el aprender sobre el mejor próximo salto para cada destino. No hay necesidad de encontrar o calcular la ruta completa, lo que hace posible una implementación muy rápida y eficiente [45].

B.A.T.M.A.N. toma en consideración los desafíos comunes, en redes inalámbricas y en las del tipo mesh en particular, realizando un análisis estadístico de la pérdida de paquetes del protocolo y velocidad de propagación, y no depende del estado o información topológica de otros nodos. En vez de confiar en metadatos contenidos en el tráfico recibido del protocolo, el cual podría estar retrasado, desactualizado o perdido, las decisiones de ruteo están basadas en el conocimiento sobre la existencia o falta de información. Los paquetes del protocolo B.A.T.M.A.N. contienen sólo una limitada cantidad de información y por lo tanto son muy pequeños. La pérdida de paquetes del protocolo a causa de enlaces no confiables no son contados como redundancia, pero son detectados y utilizados para mejores decisiones de ruteo. B.A.T.M.A.N. elige la ruta más confiable hacia el próximo salto en la decisión de ruteo de nodos individuales. Este acercamiento ha mostrado en la práctica que es confiable y libre de loops (bucles). El enfoque del algoritmo B.A.T.M.A.N. es dividir el

conocimiento sobre el mejor camino, entre nodos en la malla, a todos los nodos participantes. Cada nodo percibe y mantiene sólo la información sobre el próximo mejor salto hacia todos los otros nodos. De ahí que la necesidad de un conocimiento global acerca de los cambios en la topología local se convierte innecesaria. [46]



Desventajas:

- El mecanismo de inundación interminable basado en eventos, es decir B.A.T.M.A.N. nunca agenda ni saca de tiempo información de topología para optimizar sus decisiones de ruteo. Previene la creación de información topológica contradictoria (la causa usual de los loops de ruteo) y limita la cantidad de mensajes de topología inundando la malla.
- El algoritmo está diseñado para tratar con redes que están basadas en enlaces no confiables.

Funcionamiento

Cada nodo transmite mensajes de broadcast, llamados Mensajes Originadores (OGM), para informar a nodos vecinos sobre su existencia. Estos vecinos están retransmitiendo los OGMs de acuerdo a reglas específicas para informar a sus vecinos sobre la existencia del nodo que origino éste OGM, y así sucesivamente. De ésta manera la red es inundada con los mensajes originadores.

Los OGM son pequeños, el tamaño es 52 bytes incluyendo el encabezado IP y UDP. Los OGM contienen al menos la dirección del originador, la dirección del nodo a retransmitir el paquete, un TTL y un número de secuencia.

Los OGM que siguen un camino donde la calidad del enlace inalámbrico es pobre o saturada sufrirán de pérdida de paquetes o retraso en su camino a través de la malla. Por lo que los OGMs que viajan en buenas rutas se propagarán más rápida y fiablemente.

Para determinar si un OGM ha sido recibido una o más veces, contiene un número de secuencia dado por el originador del OGM. Cada nodo retransmite cada OGM recibido al menos una vez y sólo aquellos recibidos del vecino que ha sido identificado como el actual mejor próximo salto (el mejor vecino posicionado) hacia el originador del OGM.

De ésta forma los OGMs son inundados selectivamente a través de la malla e informan a los nodos receptores sobre la existencia de otros nodos. Un nodo X aprenderá sobre la existencia de un nodo Y en la distancia al recibir sus OGMs, cuando los OGMs del nodo Y son retransmitidos por su vecino de un salto. Si el nodo X tiene más de un vecino, puede decidir por el número de mensajes originadores que recibe más rápido y confiable por uno de sus vecinos de un salto, cuál vecino tiene que elegir para enviar datos al nodo distante.

Luego el algoritmo selecciona a éste vecino como el actual mejor próximo salto hacia el originador del mensaje, y configura su tabla de ruteo respectivamente.

Características

- Soporte de múltiples interfaces: puede ser utilizado en más de una tarjeta inalámbrica o Ethernet.
- Soporte de interfaces alias: lo que permite correr en paralelo otros protocolos.
- Interfaz IPC (Inter-Process Communication): sirve para conectarse al demonio Batman. Es de tipo Socket Unix.
- Policy Routing: Con la versión 0.3 B.A.T.M.A.N. se convirtió soportador de "policy routing" (política de ruteo) y, por tanto, puede usar las funciones especiales de ruteo proporcionada por el kernel Linux.

Linux proporciona muchas más tablas de ruteo que sólo el que se puede ver el comando "rute". B.A.T.M.A.N. hace uso de la funcionalidad para difundir sus entradas de ruteo sobre 4 tablas de ruteo. La tabla "redes" contiene entradas para el ruteo de las redes anunciadas (HNA).

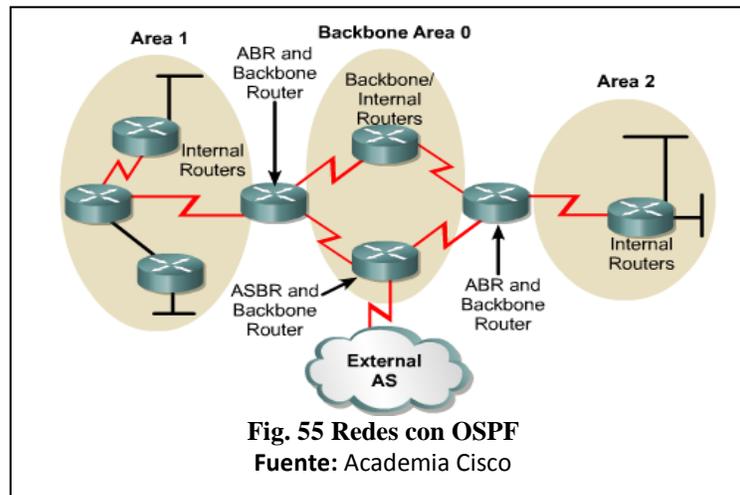
La tabla "hosts" contiene las entradas a todos los nodos alcanzables.

La tabla "unreachable" contiene entradas de los nodos no alcanzables en la red.

La tabla "tunnel" contiene la ruta por defecto si el nodo utiliza la opción routing_class y un Gateway está disponible.

4.3.2 OPEN SHORTEST PATH FIRST (OSPF)

El OSPF (Camino más corto abierto) es un protocolo de encaminamiento jerárquico de pasarela interior o IGP (Interior Gateway Protocol), que usa el algoritmo Dijkstra enlace-estado (LSA - Link State Algorithm) para calcular la ruta más corta posible. Usa "cost" como su medida métrica. Además, construye una base de datos enlace-estado idéntica en todos los encaminadores de la zona. OSPF es probablemente el tipo de protocolo IGP más utilizado en redes grandes. Puede operar con seguridad usando MD5 (Message-Digest Algorithm 5, es un algoritmo de reducción criptográfico de 128 bits) para autenticar a sus puntos antes de realizar nuevas rutas y antes de aceptar avisos de estado-enlace. [47][48][49][50]



Características generales de OSPF

- ✓ Soporta prefijos de longitud variable (VLSM, Variable Length Subnet Mask): prefijos + máscaras.
- ✓ Encaminamiento jerárquico (AS divididos en áreas, AS = Sistema Autónomo).
- ✓ Control sobre la inyección de rutas externas.
- ✓ Descubrimiento dinámico de routers vecinos.
- ✓ Adaptación a redes locales.
- ✓ Soporte para autenticación de mensajes
- ✓ OSPF puede "etiquetar" rutas y propagar esas etiquetas por otras rutas.
- ✓ Respuesta rápida y sin bucles ante cambios.

- ✓ Escalabilidad en el crecimiento de rutas externas

Además una red OSPF se puede descomponer en redes más pequeñas.

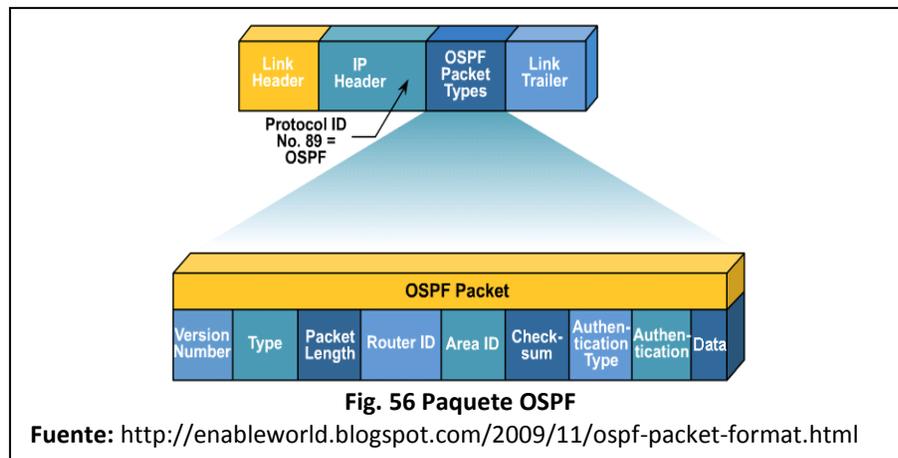
Posee un área especial llamada backbone que forma la parte central de la red y donde hay otras áreas conectadas a ella. Las rutas entre diferentes áreas circulan siempre por el backbone, por lo tanto todas las áreas deben conectarse con el backbone. Si no es posible hacer una conexión directa con el backbone, se puede hacer un enlace virtual entre redes.

Los encaminadores eligen a un encaminador designado (DR, Designed Router) y un encaminador designado secundario (BDR, Backup DR) que actúan como hubs para reducir el tráfico entre los diferentes encaminadores.

OSPF puede usar tanto multidifusiones como unidifusiones, para enviar paquetes de bienvenida y actualizaciones de estado-enlace. Las direcciones de multidifusiones usadas son 224.0.0.5 y 224.0.0.6. Al contrario que RIP o BGP, OSPF no usa ni TCP ni UDP, sino que usa IP directamente, mediante el IP protocolo 89¹⁸.

Paquete OSPF

Este consiste en nueve campos:



Version Number: Identifica la Versión de OSPF

Type: Identifica el tipo de paquete OSPF (Hello, estado de la base de datos, estado y requerimientos del enlace).

¹⁸ **Protocolo 89:** En el campo de datos del protocolo IP bajo la designación protocolo, el número 89 equivale a OSPF.

Packet Length: Especifica el tamaño del paquete incluida la cabecera. Router ID: Identifica el origen de los paquetes.

Area ID: Identifica el área de la cual los paquetes pertenecen, todos los paquetes OSPF están ligados a un área.

Cheksum: Permite el chequeo de la integridad del paquete.

Authentication Type: Contiene el tipo de autenticación de OSPF (seguridad).

Authentication: Contiene la información de autenticación.

Data: Contiene encapsulada la información de capas superiores.

Descripción de las operaciones OSPF

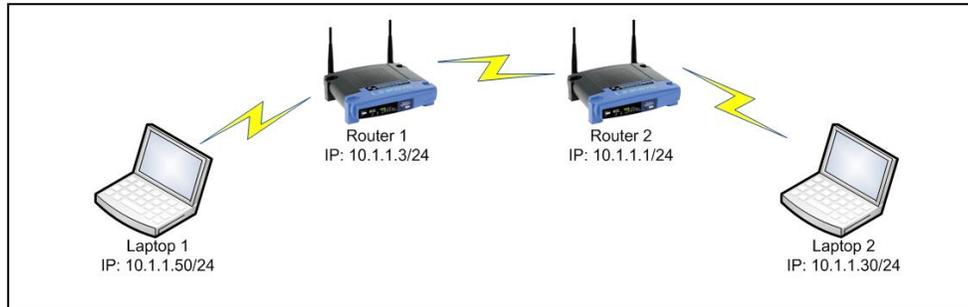
La secuencia básica de operaciones realizadas por los routers OSPF es:

- ✓ Descubrir vecinos OSPF.
- ✓ Elegir el DR (designed router).
- ✓ Formar adyacencias (elementos cercanos).
- ✓ Sincronizar bases de datos.
- ✓ Calcular la tabla de encaminamiento.
- ✓ Anunciar los estados de los enlace.

Los routers efectuarán todos estos pasos durante su activación, y los repetirán en respuesta a eventos de red. Cada "router" debe ejecutar estos pasos para cada red a la que está conectado, excepto para calcular la tabla de encaminamiento. Cada "router" genera y mantiene una sola tabla de encaminamiento para todas las redes.

4.3.3 OSLR

OSLR es un protocolo de encaminamiento proactivo, impulsado por tablas y utiliza una técnica llamada retransmisión multipunto para una ola de mensajes. Además también tiene un complemento que permite verificar la calidad de los enlaces y puede compilarse y funcionar en los sistemas GNU/Linux, Windows, OS X, FreeBSD y NetBSD. [51][52]



Una de las principales ventajas de las redes ad-hoc malladas es que todos los dispositivos que forman parte activa de la red, es decir, que además de funcionar como terminales finales actúan también como encaminadores de información realizando funciones de retransmisión de paquetes (funciones que normalmente están asociadas a un router).

Gracias a esta cualidad nos permite encaminar la información hacia nodos ocultos de los que directamente no existe visión directa, pero si indirectamente a través de cualquiera de los hosts activos en la red. Asimismo, nos permite aumentar la cobertura de la red, y por tanto la movilidad de los elementos de la misma.

4.3.4 MME (Mesh Made Easy)

MME es un protocolo de enrutamiento Mikrotik adecuado para el nivel de enrutamiento IP en las redes de malla inalámbrica. Se basa en ideas de Batman (mejor aproximación a la red móvil ad-hoc).

MME trabaja periódicamente con mensajes de difusión llamado autor. El enrutamiento de la información contenida en un mensaje se compone de la dirección IP del autor y la lista opcional de prefijos IP y los anuncios de la red. Si un nodo recibe un mensaje del autor que no ha visto antes, retransmite el mensaje.

Formato del Paquete

El único tipo de paquete que usa MME es el que contiene el mensaje del remitente.

El mensaje:

Originador IP	Autor	Valor TTL	puerta de entrada de clase	versión	(0...n prefijos IP)
---------------	-------	--------------	----------------------------	---------	---------------------

El protocolo de puerta de enlace de los clientes y los servidores también debe mantener activo el intercambio de mensajes, pero no contienen la información y tienen un formato definido. Por el

momento, sin embargo, un mensaje de mantenimiento de conexión se considera válido, si contiene menos de 1 o más de 6 octetos. [53]

A diferencia de OLSR o de otro tipo "tradicional" de protocolos de enrutamiento dinámico, MME no mantiene la información de la topología de red. Por lo tanto, MME no es capaz de calcular la tabla de enrutamiento, y no es necesario. Por el contrario, mantiene las pistas de paquetes recibidos y sus números de serie para decir cuántos paquetes se han perdido. De esta manera, las estadísticas de pérdida de mensajes para todas las combinaciones de los autores y los vecinos de un solo salto, MME es capaz de encontrar la mejor puerta de entrada a un destino en particular.

Las ideas principales detrás de MME se basan en las observaciones hechas en las redes de malla móvil: puede ser imposible saber la topología exacta de toda la red, ya que está cambiando constantemente; si cambia la topología de enrutamiento recalcula el cuadro para todos los nodos de la red, y para sistemas embebidos, el cálculo de la tabla de enrutamiento produce sobrecarga de la CPU.

Para evitar estos problemas, un nodo MME: Sólo se preocupa por el mejor vecino de un solo tramo en la ruta a un destino concreto; evita los cálculos de la tabla de enrutamiento.

Las funciones secundarias del protocolo MME son: llevar información sobre puertas de acceso a Internet, y dinámicamente las rutas de configuración por defecto. El protocolo MME utiliza el puerto UDP 1966 para el tráfico del autor del mensaje. El protocolo de puerta de enlace está usando el puerto TCP 1968. Se asume en una operación normal del protocolo, un gran número de estos mensajes se pierden debido a la mala calidad del enlace.

MME hace que las decisiones de enrutamiento basado en no más de los últimos 64 mensajes recibidos, este número puede ser significativamente menor en caso de pérdida de paquetes. El nodo puede decir que algunos paquetes se perdieron en base a sus números de secuencia.

El protocolo MME no incorpora la lógica de selección de las mejores rutas.

MME es un protocolo de selección para una puerta de enlace predeterminada. He aquí dos funciones posibles de un router. Un servidor de puerta de enlace es el nodo que está dispuesto a servir como puerta de enlace de Internet para otros routers. Por lo general, significa que tiene una conexión Ethernet o de otro modo "fuera de la malla".

Un cliente de puerta de enlace es un nodo que está dispuesto a utilizar esta información dinámica a cerca de puertas de enlace de la nube de malla. Si no se pueden alcanzar varias puertas de enlace, el cliente selecciona los mejores que se basan en estadísticas de paquetes, la clase de puerta de enlace anunciado, y de selección de entrada y puerta de enlace de configuración de los valores preferidos. Después de seleccionar el mejor servidor de puerta de enlace el cliente realiza una conexión TCP con el servidor. Esta conexión se utiliza para mensajes periódicos de mantenimiento de conexión que envía. Una vez establecida la conexión, el cliente y el servidor al añadir el túnel IP a la interfaz dinámica. El cliente también añade la ruta por defecto a través de esta interfaz.

Tenga en cuenta que no es recomendable tener una ruta por defecto (es decir, el prefijo 0.0.0.0 / 0) en la MME de configuración de la red.

4.3.5 TBRPF (Topología de difusión basada en Redirección inversa)

Protocolo de enrutamiento diseñado para redes móviles ad hoc, que establece los saltos a lo largo del enrutamiento de los caminos mínimos para cada destino. Cada nodo que ejecuta TBRPF calcula un árbol de código fuente (que proporciona rutas de acceso a todos los nodos alcanzables), basado en información de la topología parcial almacenada en su tabla de topología, utilizando una modificación del algoritmo de Dijkstra. Para minimizar la sobrecarga, cada nodo informa sólo una parte de su código fuente a los vecinos. Esto está en contraste con otros protocolos (por ejemplo, STAR) en la que cada nodo reporta su árbol de fuentes de todo a los vecinos. TBRPF utiliza una combinación de actualizaciones periódicas y diferenciadas para mantener informados a todos los vecinos de la parte de notificación de su árbol de fuentes. Cada nodo tiene también la opción de reportar información de las topologías adicionales (hasta la topología completa), para proporcionar mayor robustez en las redes de gran movilidad. TBRPF realiza descubrimiento de vecinos con "diferencial" mensajes HELLO que reportan sólo los cambios en la situación de los vecinos. Esto se traduce en mensajes HELLO que son mucho más pequeños que los otros protocolos de enrutamiento como OSPF y OLSR. [54][55]

4.3.6 HSLS Haz y estado de los vínculos con Deficiencia Visual

Se trata de un algoritmo que permite a las computadoras comunicarse a través de la radio digital en una red de malla para reenviar mensajes a las computadoras que están fuera del alcance del contacto directo por radio. Su sobrecarga de la red es teóricamente óptima, utilizando tanto proactiva y reactiva de estado de enlace de enrutamiento para limitar las actualizaciones de la red en el espacio y

el tiempo. Sus inventores creen que es un protocolo más eficiente para enrutar también redes cableadas.

HSLs se hizo a escala a las redes de más de mil nodos, y en las grandes redes comienza a superar las eficiencias de los otros algoritmos de encaminamiento. Esto se logra mediante un equilibrio cuidadosamente diseñado de la frecuencia de actualización, y actualizar a la medida con el fin de propagar la información de estado de los vínculos de manera óptima. A diferencia de los métodos tradicionales, HSLs no inunda la red con la información de estado de enlace para tratar de hacer frente a los nodos móviles que las conexiones de cambio con el resto de la red. Además, HSLs no requiere que cada nodo tenga la misma visión de la red.

HSLs permite balancear de forma óptima y sub óptima las características de los enfoques de enrutamiento proactivo y reactivo. Estas estrategias se combinan mediante la limitación de las actualizaciones de estado de vínculos en el tiempo y el espacio. Al limitar el tiempo de vivir la cantidad de capacidad de transmisión. Al limitar los tiempos en que una actualización de enrutamiento proactivo se transmite, varias actualizaciones se pueden recoger y transmitir al mismo tiempo, también ahorrando capacidad de la transmisión.

Por definición, un algoritmo de estado de enlace utiliza la información disponible para producir la mejor ruta o la ruta óptima posible, dada la información disponible.

La sub óptima de enrutamiento ocurre de manera natural porque los nodos distantes obtienen información con menos frecuencia.

La reacción de enrutamiento se debe a un intento fallido de usar un enlace al lado hace que el temporizador próximo a expirar, probablemente la elaboración de la información para encontrar una ruta alternativa. En cada falla sucesiva, un reintento se intensifica la reacción a un público más amplio de los nodos de malla.

Ventajas

La red establece varias rutas en tiempo real, y reduce sustancialmente el número y tamaño de los mensajes enviados para mantener la red conectada, en comparación con muchos otros protocolos.

La información de enrutamiento y la transferencia de datos están descentralizadas, y por lo tanto debe tener una buena fiabilidad y rendimiento sin puntos calientes locales.

El sistema requiere grandes cantidades de memoria para que los nodos disponibles se puedan mantener en las tablas de enrutamiento. Afortunadamente, estos son cada vez menos costoso todo el tiempo.

Debido a que HSLs envía actualizaciones distantes con poca frecuencia, los nodos no tienen la información más reciente acerca de si un nodo lejano todavía está presente. Este problema está presente en cierta medida en todos los protocolos de estado de vínculos, ya que la base de datos de estado de vínculos puede contener un anuncio de un nodo que ha fallado. Sin embargo, protocolos como OSPF propagará una actualización de estado de los vínculos de los nodos no vecinos, y por lo tanto todos los nodos deben aprender rápidamente, no es la desaparición del nodo (o desconexión). Con HSLs, no se puede eliminar la ambigüedad entre un nodo que sigue presente 10 saltos y un nodo que ha fallado hasta antiguos vecinos enviando anuncios de larga distancia. Por lo tanto, HSLs puede fallar en algunas circunstancias que requieren alta seguridad.

4.3.7 MMRP (Mobile Mesh Routing Protocol)

Protocolo de enrutamiento en malla (MMRP) es un protocolo de enrutamiento móvil ad hoc que se basa en el estado de vínculos. Todos los nodos emiten periódicamente período de actualización de segundos en un datagrama UDP, llamado estado de vínculos de paquetes (LSP) en cada interfaz, que está participando en el protocolo.

El LSP se divide en las siguientes partes:

- ✓ Versión y tipo de mensaje.
- ✓ Identificación del router (Router Id): Número único de 32 bits que identifica el origen de la LSP (por ejemplo: la dirección IP de una interfaz del nodo).
- ✓ Número de secuencia: Se utiliza para distinguir entre los proveedores de servicios lingüísticos más recientes y más antiguos. Un nodo de incrementos en el número de secuencia por uno, cada vez que genera un nuevo LSP.
- ✓ Edad: Define cuantos segundos, el LSP mantiene su validez, hasta que expire. Por tanto, el nodo de la fuente establece el valor de la edad a la "edad máxima". Cada nodo de recepción del LSP calcula un tiempo de cuánto tiempo va a esperar a que se transmite la LSP y la edad disminuye por este valor.
- ✓ Cuenta del salto: Es el número de nodos que la LSP recorre para alcanzar el nodo actual.

- ✓ Interfaces locales: lista de todas las interfaces en gama de comunicación de una interfaz de nodo de la fuente (la nota, que ha generado el LSP), que participan en MMRP.
- ✓ Una entrada consiste en "Dirección de interfaz Vecino" y "Métrica de la Interfaz Vecino", como el costo de ese enlace (puede ser especificado por la aplicación).

Reactivo por demanda

Reacción pasiva en detección de problemas (rutas que no trabajan), tiende a ser menos efectiva, pero también es menos exigente con el CPU. Las líneas entre estos dos tipos no son estrictas, existen mezclas y formas diferentes. Dentro de este tipo distinguimos:

4.3.8 AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector)

Este protocolo permite el enrutamiento dinámico, autoarranque y multi-salto entre todos los nodos móviles que participan en la red. AODV permite a todos los nodos obtener las rutas rápidamente para las nuevas destinaciones 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, aunque sea por el uso de una clave pre configurada, o activando mecanismos para evitar la participación de nodos intrusos. [56]

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 implica que no se crean bucles y la facilidad de programación.

Este protocolo define tres tipos de mensajes:

- ✓ Route Requests (RREQs),
- ✓ Route Replies (RREPs)
- ✓ Route Errors (RERRs).

Estos mensajes se reciben vía UDP.

Mientras todos los nodos tengan las rutas correctas de cada nodo el protocolo no intercambia mensajes. Cuando una ruta hacia un nuevo destino es necesaria, el nodo que la necesita envía un 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 por el envío de un mensaje RREP hacia el nodo que originó el RREQ.

Los nodos monitorizan el estado de las conexiones de los nodos, a un salto, participantes en las rutas activas. 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	Flag número de secuencia de destino válido	Otros estados y flags	Interfaz de red.	Contador de saltos.	Salto siguiente.	Listado de precursores	Tiempo de vida
---------------	--------------------------------	--	-----------------------	------------------	---------------------	------------------	------------------------	----------------

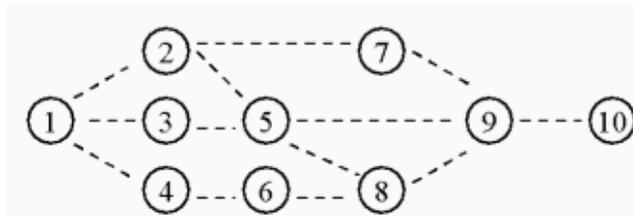
Este protocolo maneja diferentes conceptos como:

- Ruta activa: Una ruta que tiene una entrada en una tabla y está marcada como válida. Sólo estas rutas se pueden usar para la retransmisión.
- Broadcast: Estos paquetes no deben ser transmitidos por la red en exceso, pero son útiles para la transmisión de los mensajes del AODV por la red.
- Nodo retransmisión: Nodo que permite la retransmisión de paquetes hacia otros nodos, por medio de enviar los paquetes hacia el siguiente salto.
- Ruta de retransmisión: Una ruta configurada para enviar paquetes de datos desde el nodo que origina el descubrimiento de la ruta hacia el destino deseado.
- Ruta inválida: Una ruta que ha expirado, tiene el estado inválido. Estas rutas se utilizan para guardar una ruta válida anterior y de este modo tener la información durante más tiempo. Una ruta inválida no puede ser utilizada para la retransmisión de paquetes.
- Nodo originario: Un nodo que inicia el mensaje de descubrimiento de ruta para ser procesado y poder ser retransmitido por otros nodos.

- Ruta contraria: Una ruta configurada para retransmitir el paquete (RREP) desde el destinatario hacia el que ha originado el mensaje.
- Número de secuencia: Un número incremental que mantiene cada nodo originario. En los mensajes del protocolo AODV se usa por los otros nodos para determinar la “frescura” de la información que tiene el nodo originador.

Ejemplo:

- Nodo 1 envía RREQ a 2, 3, 4;
- Nodo 2, 3,4 envía RREQ a 5, 6, 7
- Nodo 3 tiene 3-5-8-9-10 secuencia #1
- Nodo 4 tiene 4-6-8-10 secuencia #4
- Nodo 4 responde Nodo 3 no responde



4.4 Escenarios de Aplicabilidad

A través de una red inalámbrica es posible acceder y brindar diferentes servicios pero es vital que dichos servicios cubran las necesidades reales de la comunidad de manera que las personas hagan uso de ellos.

Servicios básicos como navegar por internet, acceder a contenidos en línea, uso de correo electrónico, cuartos de charlas virtuales, entre otros, podrían ser atractivos para que las comunidades empiecen a usar los recursos de la red.

Las redes en malla pueden implicar cualquiera de los dispositivos fijos o móviles. Las soluciones son tan variadas como las necesidades de comunicación, por ejemplo, en entornos difíciles, como las situaciones de emergencia, túneles y plataformas petroleras a la vigilancia del campo de batalla de alta velocidad y aplicaciones de vídeo móvil a bordo de transporte público o en tiempo real las carreras de coches de telemetría. Una importante aplicación de malla de las redes inalámbricas es el

servicio de VoIP. Mediante el uso de un Servicio de Calidad de régimen, la malla inalámbrica local pueden apoyar las llamadas telefónicas que se realizan a través de la malla.

Gestión

Este tipo de infraestructura puede ser descentralizado o de gestión centralizada, ambos son relativamente baratos y muy fiables y resistentes, ya que cada nodo debe transmitir sólo en la medida en que alcance al próximo nodo. Los nodos actúan como routers para transmitir datos desde los nodos cercanos a los compañeros que están demasiado lejos para llegar en un solo salto, lo que resulta en una red que pueden extenderse a grandes distancias. La topología de una red en malla también es más fiable, ya que cada nodo está conectado a otros nodos. Si cae un nodo de la red, debido a error de hardware o cualquier otra razón, sus vecinos pueden encontrar otra ruta utilizando un protocolo de enrutamiento.

Operación

El principio es similar a la forma de paquetes de viaje en todo el Internet con conexión de cable de datos de un dispositivo a otro hasta que llega a su destino. Los algoritmos de encaminamiento dinámico aplicado en cada uno de los dispositivos pueden permitir que esto suceda. Para llevar a cabo tales protocolos de enrutamiento dinámico, cada dispositivo debe comunicar información de enrutamiento a otros dispositivos en la red. Cada dispositivo determina entonces qué hacer con los datos que recibe ya sea que pase al siguiente dispositivo o conservarlo, según el protocolo.

Existen muchos lugares en los cuales se podría aplicar este tipo de red como por ejemplo:



Fig. 57 Redes de Datos para Seguridad



A través de las redes también es posible acceder a herramientas de educación a distancia que impulsen el desarrollo de competencias locales para la generación de soluciones y tecnologías apropiadas a las características de las comunidades. Además se facilita el acceso a servicios como los de intermediación financiera, que posibilitan el intercambio de dinero con emigrantes que han salido de las comunidades, o a redes de comercio justo que permiten la comercialización de productos locales a precios competitivos.

De acuerdo con los servicios que se deseen prestar es necesario verificar que la red cumpla con criterios de calidad y tasa de transmisión.



Capítulo 5

Análisis de Mercado



Capítulo 5: Análisis de Mercado

En el desarrollo de este capítulo se dará a conocer una descripción de la zona geográfica de Pimampiro, la situación actual de la infraestructura tecnológica, aspectos socioeconómicos en base a un estudio de campo y análisis de mercado a través de encuestas realizadas en las diferentes parroquias rurales de Pimampiro.

5.1 Descripción del cantón Pimampiro

El cantón Pimampiro se subdivide en 4 parroquias que son: Mariano Acosta, San Francisco de Sigsipamba, Chugá y la parroquia matriz Pimampiro, cabecera cantonal.

Parroquia	Km2	%
Matriz	88,44	20
Mariano Acosta	133,76	30
Sigsipamba	172,33	39
Chugá	47,94	11
Total	442,5	100

Tabla 5 Parroquias de Pimampiro

Fuente: www.pimampiro.gob.ec

Pimampiro concentra el 3.8% de la población provincial.

La densidad poblacional es de 29.7 habitantes por kilómetro cuadrado.

División política y administrativa

Pimampiro	Mariano Acosta	San Francisco	Chugá
Comunidades			
1. San Francisco de Paragachi	1. Centro parroquial Mariano Acosta	1. Centro Parroquial San Fco. de Sigsipamba	1. Centro parroquial Chugá
2. Chaguayacu	2. Puetaquí	2. Shanshipamba	2. El Sitio
3. San Juan	3. Guanupamba	3. San Antonio	3. San Onofre
4. El Tejar	4. Yanajaca	4. La Floresta	4. San Francisco de los Palmares
5. El Inca	5. La Florida	5. San Isidro	5. Palmar Chico
6. Los Árboles	6. Nueva América	6. La Merced	6. Guagalá
7. Buenos Aires		7. Bellavista	7. Pan de Azúcar
8. El Cebadal		8. San Miguel	

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

9. San José de Aloburo		9. Ramos Danta	
10. El Alizal		10. El Carmelo	
11. Colimburo		11. San José	
12. La Armenia		12. San Vicente	
13. Yuquín Bajo		13. El Cielito	
14. Yuquín Alto		14. El Cedral (s/p)	
15. Quinta Yuquín			
16. Pueblo Nuevo de Yuquín			
Barrios			
1. El Mirador	1. Las Orquídeas	La Isla	
2. San Vicente	2. San Francisco		
3. San Pedro	3. El Rosario		
4. Monserrat			
5. Santa Clara			
6. La Quinta			
7. Santa Rosa			
8. San José			
9. Cooperativa 26 de noviembre			
10. La Libertad			
11. El Rosal			
12. Santa Cecilia			
13. Santa Lucía			
14. San Isidro			

Tabla 6 Comunidades y Barrios de Pimampiro

Fuente: PDLs parroquiales

Pimampiro es considerado como Parroquia Civil a partir de la fundación de la ciudad de Ibarra; desde el 25 de junio de 1824, mediante decreto de la Gran Colombia, Pimampiro adquirió esta categoría. El 21 de Mayo de 1963, el I. Concejo Municipal de Ibarra ratifica a Pimampiro la condición de parroquia civil.

Pimampiro fue elevado a la categoría de cantón, mediante Decreto Legislativo sancionado por el Presidente Jaime Roldós Aguilera el 21 de mayo de 1981, publicado en el Registro Oficial No. 02, el 26 de Mayo de 1981.[57]

5.1.1 División Política

La cabecera cantonal es la ciudad Pimampiro, asentada en un pequeño valle alto, elevado sobre la ribera sur de la cuenca del río Chota, con características topográficas relativamente planas y onduladas.

Al norte limita con la provincia del Carchi, al sur con la provincia de Pichincha, al Este con la provincia de Sucumbíos y al Oeste con el cantón Ibarra. La extensión cantonal es de 442,5 km², que significan el 3.8% de la superficie total de la provincia de Imbabura.

El rango altitudinal del cantón va desde los 2.080 ms hasta los 3.960 ms sobre el nivel del mar. A lo largo de este rango altitudinal el territorio de Pimampiro encierra varias zonas de vida.

El cantón es parte de la Cuenca Hidrográfica del Río Mira, a través de la subcuenca del río Chota.

El cantón Pimampiro pertenece a la provincia de Imbabura, se ubica a 52 kilómetros al noroeste de Ibarra, la capital provincial y a 283 kilómetros de Quito, la capital del país.

5.1.2 Características Demográficas

La planificación es una estrategia para procurar el desarrollo y formular propuestas en el ámbito social, económico y ambiental; la población del cantón es el sujeto activo de esta estrategia, pues actuando en el medio físico, que es el territorio cantonal, ejecuta las actividades productivas, comerciales, de consumo y de relacionamiento social.

Por lo tanto, resulta necesario e importante conocer la distribución de la población en el territorio, las tendencias existentes, la forma en que está compuesta y la manera como se distribuye la población sobre el territorio de Pimampiro, las formas de ocupación, que luego, complementándose con el análisis del ordenamiento territorial, permitan establecer acciones que tengan mayor impacto en el mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes.

La población cantonal en el contexto provincial y nacional

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, en base al último Censo de Población y Vivienda realizado el 2001, el cantón Pimampiro tiene una población de 12.951 habitantes, es decir es el cantón de más baja población en la provincia de Imbabura, representa el 3.8% de la población provincial y el 0.11% de la población nacional.

El 36% de la población habita en la parte urbana, en tanto que el 64% lo hace en el sector rural. Por sexos, la población es relativamente igual entre hombres (51.1%) y mujeres (49.9%).

El peso relativo de la población de Pimampiro con respecto a la provincia ha disminuido del 5.6% de 1990 al 3.8% en la actualidad. Es decir, en 1990, 6 de cada 100 imbabureños vivían en Pimampiro, mientras que hoy, 4 de cada 100 imbabureños viven en este cantón. Como se puede ver, la distribución relativa de la población a nivel provincial ha cambiado.

Área	Total	Hombres	Mujeres
Total	12.951	6.494	6.457
Urbana	4.654	2.271	2.383
Rural	8.297	4.223	4.074

Tabla 7 Total Poblacional Pimampiro

Fuente: INEC. Censos de población y vivienda 1990 y 2001

Esta tendencia refuerza la caracterización del cantón Pimampiro como zona expulsora de población.

Distribución de la población por parroquias

Entre los períodos censales de 1990 y 2001 la población de todas las parroquias decrece, siendo más pronunciada la tendencia en San Francisco de Sigüipamba y en Mariano Acosta.

Según el Censo de 1990, el peso de la población de las tres parroquias rurales sobre el total cantonal era del 40%, en tanto que para el 2001 ese porcentaje cayó al 37%; lo que significa que la distribución de la población varió, la migración ha sido más alta en el sector rural, por lo que el peso poblacional de las tres parroquias con relación al cantón disminuyó.

Este aspecto permite deducir que las concentraciones de población en determinados espacios responden a dinámicas económicas, sociales y hasta políticas, y que la vialidad y los servicios influyen en éstas.

En Pimampiro la población mestiza es mayoritaria con un 77% del total de habitantes; el 14% es indígena y los habitantes negros o afro descendientes representan el 4%. Según el Censo del 2001, un 4% de la población cantonal se reconoce como blanca. Mariano Acosta es la parroquia con mayor población indígena, que representa el 59,5% del total, en tanto que la población mestiza corresponde al 40,5%. Por su lado los afros ecuatorianos se asientan, casi exclusivamente, en la comunidad Chaguayacu, de la cabecera cantonal.

Distribución de la población por área de residencia

Como podemos ver en los datos, en Pimampiro el porcentaje de población rural es del 64%, cifra superior a la población urbana que es el 36%.

Si analizamos el período intercensal, podemos observar cambios en cuanto a la distribución geográfica poblacional, para el 2001 el indicador rural disminuye.

El predominio de la población rural significa una notable presión sobre los recursos naturales, más aún si no se determinan políticas enfocadas al uso y manejo adecuado de estos recursos.

Esta distribución de la población también afecta a la prestación de servicios básicos, salud y educación, pues significa mayor inversión por la dispersión poblacional en el campo, así como por la dificultad de acceso de la gente que vive en él. Esto es notorio también en la parroquia Pimampiro, que tiene el 43% de la población viviendo en la zona rural de la parroquia.

Estructura demográfica

En Pimampiro, la composición de la población por grupos de edad ha sufrido cambios, quizá debido a la aplicación de políticas de planificación familiar y educación sexual y reproductiva, el índice de población infantil y adolescente ha disminuido.

Hay que resaltar que Pimampiro es un cantón joven, con un 58% de la población comprendida en el rango de 0-29 años.

A nivel cantonal existe casi el mismo número de hombres y mujeres; sin embargo en las parroquias hay diferencias. En Chugá, el índice de mujeres es más bajo, mientras que en Mariano Acosta es mucho más alto.

Crecimiento de la población

Según el INEC, Pimampiro presenta un decrecimiento poblacional de un 1.6% promedio anual, es el único cantón de la provincia que crece negativamente.

La existencia de un 23% de la población ubicada en el rango de 0-9 años significa una tasa de natalidad alta, si esto comparamos con el decrecimiento existente, se comprende que en Pimampiro ha existido un fuerte proceso migratorio.

Densidad poblacional

La densidad poblacional actual de Pimampiro es de 29.7 habitantes por kilómetro cuadrado, superior a la densidad provincial de 7.7 hab. /km², e inferior a la nacional de 45 hab/km². Esto significa que en

Pimampiro, por cada 100 has. existen 29.7 habitantes, que es relativamente alto, constituyéndose en presión sobre los recursos naturales del cantón, lo que obliga a considerar la necesidad de planificar la ocupación del territorio.

El promedio de personas por hogar es de 3.9 para el cantón; 3.6 para el área urbana; y, 4.1 para el área rural.

5.1.3 Economía

El cantón posee diversidad de sistemas productivos, principalmente en la parte baja o valle se cultiva tomate riñón, pimiento, ají, cebolla paiteña, algunos árboles frutales y hortalizas. En las áreas de ladera se cultiva fréjol, arveja, papas, cebada, trigo entre otros productos típicos de la serranía ecuatoriana.

La agricultura es la actividad económica predominante, y la comercialización ligada a esta actividad.

El sector agrícola emplea a la mayor parte de la población con un 65% (3.413 personas).

5.2 Encuesta y análisis de resultados

La encuesta es una técnica de investigación que consiste en una interrogación verbal o escrita que se realiza a las personas con el fin de obtener determinada información necesaria para una investigación. [58]

Con el estudio de mercado de los diferentes sectores pretendemos dar a conocer las necesidades tecnológicas para sustentar con esto nuestra investigación.

Los objetivos de la investigación se pueden dividir en tres: [59]

Objetivo social:

Satisfacer las necesidades del cliente, ya sea mediante un bien o servicio requerido, es decir, que el producto o servicio cumpla con los requerimientos y deseos exigidos cuando sea utilizado.

Objetivo económico:

Determinar el grado económico de éxito o fracaso, que pueda tener una empresa al momento de entrar a un nuevo mercado o al introducir un nuevo producto o servicio y, así, saber con mayor certeza las acciones que se deben tomar.

Objetivo administrativo:

Ayudar al desarrollo de su negocio, mediante la adecuada planeación, organización, control de los recursos y áreas que lo conforman, para que cubra las necesidades del mercado, en el tiempo oportuno.

Para la investigación es necesario determinar un tamaño muestral y en Estadística el tamaño de la muestra es el número de sujetos que componen la muestra extraída de una población, necesarios para que los datos obtenidos sean representativos de la población.

En este caso conocemos el tamaño de la población.

$$n = \frac{Z_c^2 * N * p * (1-p)}{e^2 * N + Z_c^2 * p * (1-p)} \quad \text{EC. 8}$$

Donde:

N = Total de la población

$Z_c^2 = 1.962$ (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)

e = precisión (en este caso deseamos un 3%).

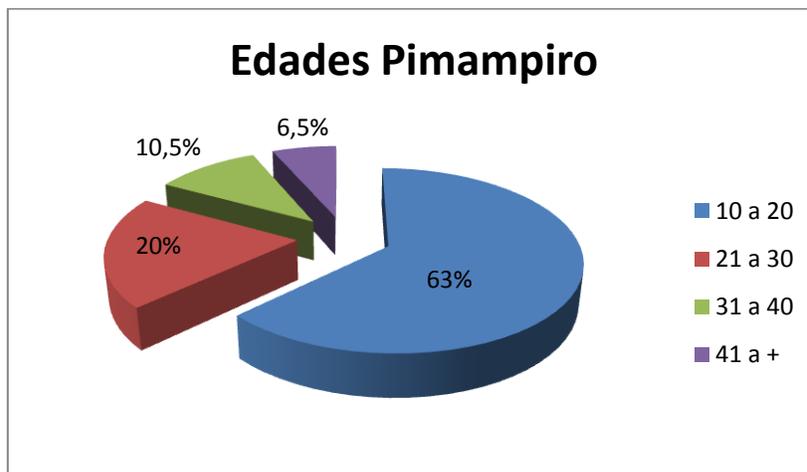
$$n = \frac{1.96^2 * 12951 * 0.05 * (0.95)}{3^2 * 1.96^2 * 12951 * 0.05 * (0.95)}$$

n=200

ENCUESTA

PREGUNTA 1 EDADES

Esta pregunta percibe el poder determinar las edades de los posibles usuarios de los servicios que brindaría la red mesh, está constituida edades de 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40 y de 41 a más, el resultado obtenido lo reflejamos en el siguiente gráfico estadístico.



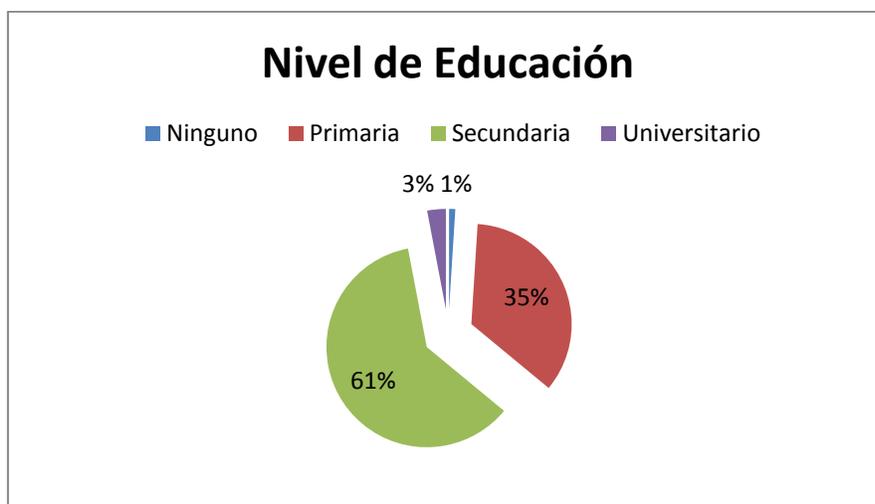
Análisis: De acuerdo a los resultados obtenidos podemos determinar que tendríamos un 63 % de habitantes que se encuentra entre las edades de 10 a 20 años de las parroquias de Pimampiro, lo cual representa el porcentaje más alto y por el rango en el que se encuentran, podemos identificar que este porcentaje corresponde a estudiantes secundarios, el 20% son personas entre 21 a 30 años es decir la mayoría corresponde a personas jóvenes, y son las que tienen mayor interés en la utilización de los múltiples servicios que encontramos en internet ya sea para fines educativos o laborales.

PREGUNTA 2 PARROQUIAS

En esta pregunta se estableció la parroquia a la cual pertenece el encuestado.

PREGUNTA 3 NIVEL DE EDUCACION

En la presente pregunta se pretende segmentar el mercado de los posibles usuarios que utilizarían la red mesh en el que se considera los niveles: Primario, Secundario y Universitario, en la siguiente grafica se muestra los resultados obtenidos en la encuesta.



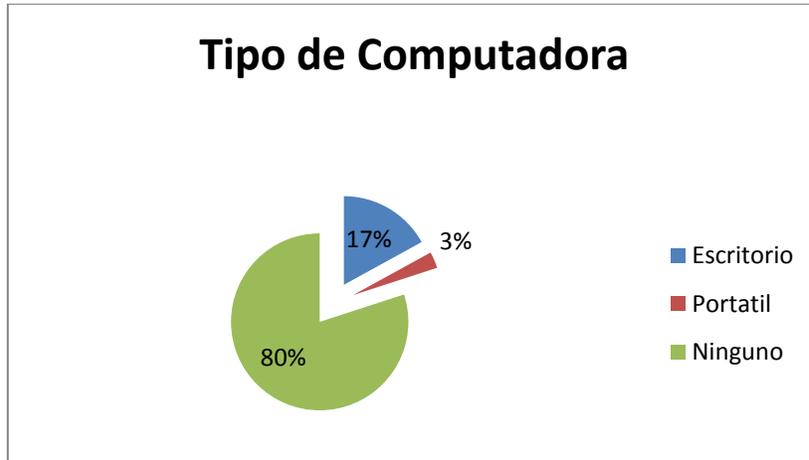
Análisis:

En los resultados obtenidos en la pregunta sobre el nivel de educación de los habitantes se puede establecer que el 61% es de nivel secundario y el 35 % es primario, con lo cual se ratifica los resultados obtenidos en la pregunta 1, lo que indica que en las parroquias existen un alto nivel de requerimiento de acceso a la información en la web ya que son educandos que deberían insertarse al mundo globalizado, con la tecnología de la información.

PREGUNTA 4 *Dispone de una computadora en su casa*

En esta pregunta trata de encontrar los recursos tecnológicos con los que cuentan los habitantes como computadora personal y de escritorio.

Los resultados obtenidos se ven reflejados en el siguiente gráfico estadístico.



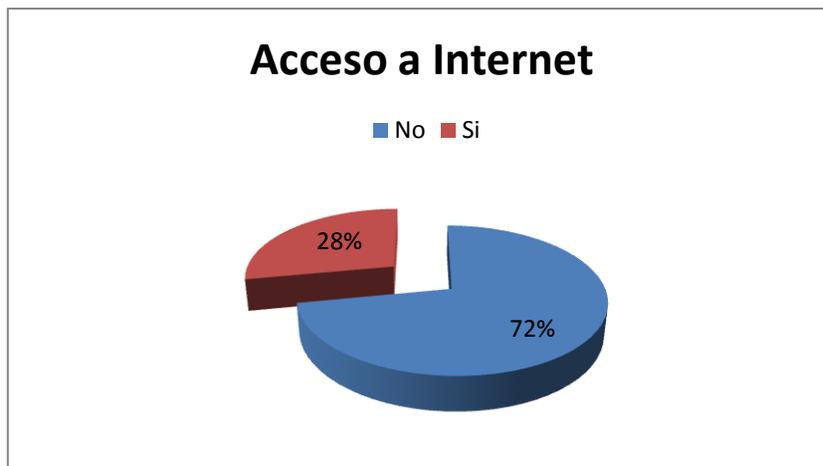
Análisis:

En vista de que existe apenas un 20% de la población que tiene una PC por la cual pueda acceder al sin numero de servicios que brinda la red mesh, se debe analizar cómo el 80% restante puede acceder a este servicio.

PREGUNTA 5 *Cuenta con servicio de Internet*

En esta pregunta se trata de encontrar si los habitantes cuentan o no con el servicio de Internet

Los resultados obtenidos se ven reflejados en el siguiente gráfico estadístico.



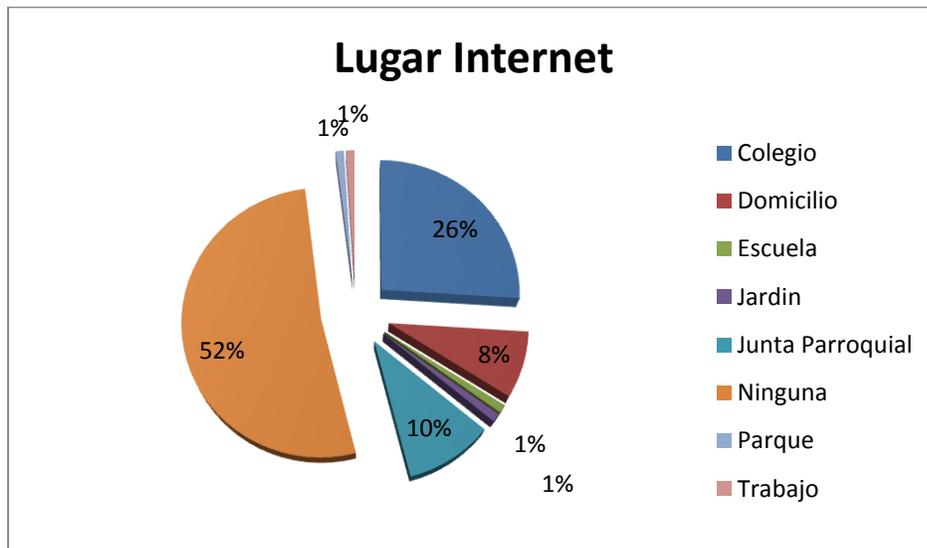
Análisis:

De acuerdo a la encuesta realizada se ha podido determinar que el 72% de los habitantes no cuentan con acceso a internet, y tomando en cuenta que en el internet en la actualidad es una importante herramienta, en la cual existe todo tipo de información y en especial el de la educación, es esencial este estudio de la implementación de la red mesh ya que sería parte de la solución más óptima para llegar a minimizar este porcentaje.

PREGUNTA 6.- Lugar donde existe internet:

En esta pregunta, luego de determinar si los habitantes cuentan con el servicio de internet, se requiere establecer los lugares en los cuales se cuenta con este servicio.

Los resultados obtenidos se ven reflejados en el siguiente gráfico estadístico.

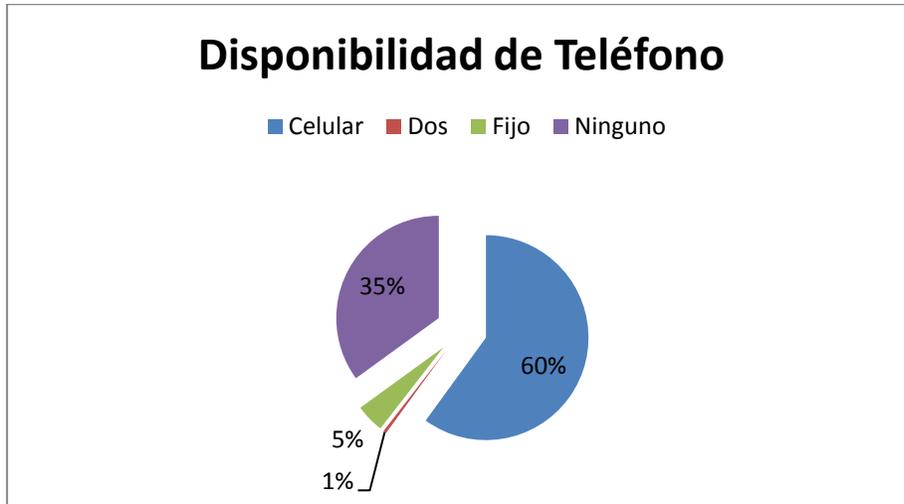


Análisis:

Obtenido los resultados de esta pregunta, en la que el domicilio es el 8%, la Junta Parroquial es el 10% y el colegio el 26 %, deberíamos afianzar el servicio en el área educativa donde existe más requerimiento y de acuerdo a los resultados obtenidos en la pregunta 3, nos indica que el nivel de educación es donde debería existir la prioridad de implementación de la red mesh.

PREGUNTA 7.- Dispone de teléfono:

En esta pregunta queremos conocer si los habitantes cuentan con teléfono fijo o móvil y poder determinar el índice de inserción de la telefonía fija y móvil.



Análisis:

La disponibilidad telefónica en las parroquias de Pimampiro es de un 60% de telefonía móvil, uno de los servicios que nos permite brindar la red mesh es la telefonía de VoIP con la que podríamos tener una cobertura más alta de la población.

PREGUNTA 8.- Cuenta con Telefonía Móvil

En esta pregunta queremos establecer el uso de las operadoras móviles en los habitantes.



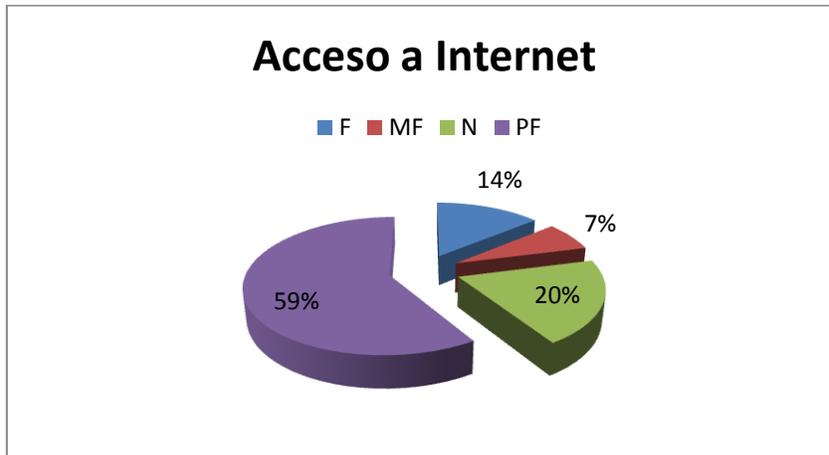
Análisis:

De acuerdo a nuestras encuestas el 94% de de la población utiliza el servicio de la operadora Porta debido a que tiene mayor cobertura en las parroquias de Pimampiro con la red mesh podríamos

brindar el servicio de telefonía IP, brindando de esta manera otra alternativa a los habitantes de dichas parroquias.

PREGUNTA 9.- El acceso a internet es:

En esta pregunta queremos establecer el nivel de acceso a internet en los sectores rurales de Pimampiro, Se considero como accesos Ninguno: N, Poco Frecuente: PF, Frecuente: F y Muy Frecuente: MF.



Análisis:

En la encuesta se establece que el acceso a internet es poco frecuente esto debido a los lugares en los cuales hasta el momento cuentan con este servicio, para aumentar el acceso a internet con el estudio de las redes mesh podríamos llegar a cubrir un aproximado del 80% de la población.

PREGUNTA 10.-INFORMACION DE LA COMUNIDAD

En esta pregunta tratamos de determinar el interés de los habitantes de Pimampiro por conocer lo que sucede en su parroquia o comunidad.



Análisis:

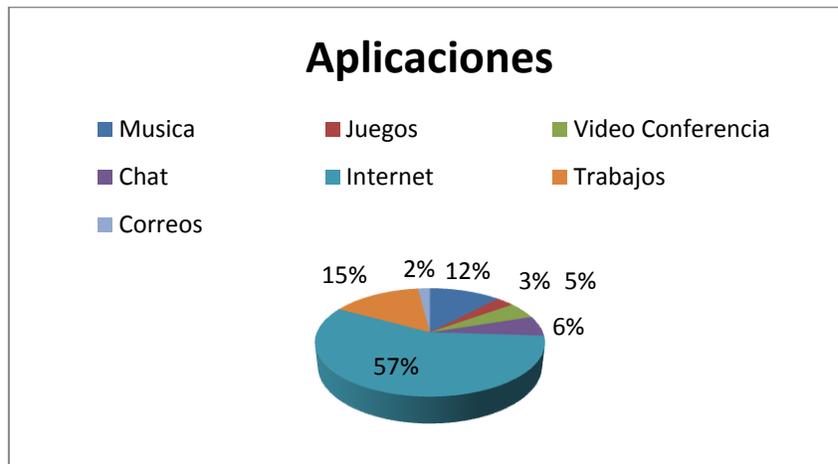
Se puede determinar que existe un interés muy alto del 95% de los encuestados en estar informado sobre eventos o sucesos de la comunidad que podrían brindar las redes mesh.

PREGUNTA 11.-Uso del servicio de Internet

En esta pregunta queremos determinar los usos que le dan al internet los habitantes de Pimampiro.

Tomando en cuenta los siguientes parámetros:

Música	Deberes
Juegos	Trabajos
Video Conferencias	Correo
Chat	Otros

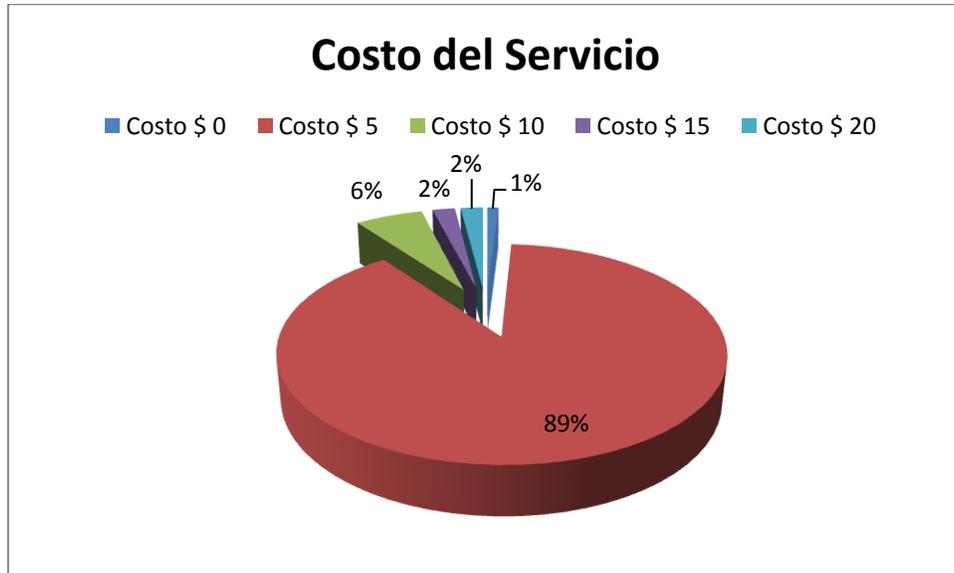


Análisis:

Aquí podemos determinar que el uso que le dan los habitantes que acceden al servicio de internet no es únicamente a una aplicación determinada sino a todo lo que representa el internet como es correo, juegos, msn, trabajos, etc.

PREGUNTA 12.- Costo del Servicio

En la presente pregunta queremos establecer el valor promedio que estaría interesado en cancelar por el servicio prestado.



Análisis:

En la encuesta se determinó que la mayoría de la población es decir un 89% consideraría que el valor por el cual ellos cancelarían por el servicio mensualmente es de \$ 5, dicho valor podría ser aplicable ya que en la actualidad los costos de internet se encuentran en una disminución paulatina.

PREGUNTA 13.- Pagos de consumos (agua, luz, teléfono, etc.) desde su hogar.

En la presente pregunta queremos conocer el interés de los habitantes de Pimampiro en poder cancelar los consumos de servicios desde la comodidad de su hogar.



Análisis:

La mayoría de la población se mostró interesada en poder realizar los pagos de servicios básicos desde la comodidad de su hogar o junta parroquial más cercana al lugar donde habitan sin necesidad de trasladarse a los centros de gestión municipal.

5.3 Conclusiones

La población actual de Pimampiro es de 12951 habitantes, para nuestro estudio estadístico se obtuvo una muestra (EC. 8) de aproximadamente unas 200 personas con la cual podríamos representar el 100% de la población, con la finalidad de recopilar la información necesaria para el estudio de implementación de la red mesh pretendiendo cubrir la mayoría de las distancias y lugares del cantón Pimampiro y sus alrededores.

En la tabulación de las encuestas se obtuvo como una de las principales conclusiones que la población primaria y secundaria de las zonas rurales de Pimampiro, es la que requiere de acceso a la información que se encuentra en la web en especial el área de la educación e investigación, por la falta de infraestructura y acceso al mundo globalizado estas zonas no cuentan con estos beneficios y podríamos solventar estos requerimientos con el estudio de las redes mesh.

La mayoría de los habitantes de las zonas rurales se encuentran demasiado distantes a los centros de administración y gestión municipal para realizar los pagos de servicios básicos, para minimizar tiempos y recursos con las redes mesh se podría habilitar una aplicación web que sería de fácil acceso y disponibilidad para el usuario.



Capítulo 6

Diseño de la Red Mesh para las zonas rurales de Pimampiro



Capítulo 6: Diseño de la Red Mesh para las zonas rurales de Pimampiro

6.1 Introducción

El presente capítulo está constituido por el estudio, diseño de la red y cálculo del área de Pimampiro y las zonas rurales a su alrededor como Chugá, Mariano Acosta, etc., identificando las necesidades tecnológicas de la población como servicios de internet, correo electrónico y voz sobre ip, además acceder a la información específicamente de la ciudad.

Se realizara el estudio de algunos equipos con los cuales se podría realizar la implementación de la red estudiada e identificar el equipo que se acople a las necesidades económicas y técnicas.

6.2 Visión general de la propuesta del diseño de la red WNS

Recopilados los resultados del análisis de mercado de la situación actual de las parroquias rurales de Pimampiro nos enfocaremos específicamente en el diseño de la red WMNs para brindar diferentes servicios como son correo electrónico, internet, voz sobre ip, etc.

Para el diseño de la red WMNs se han considerado los siguientes aspectos importantes:

- **Concentración Geográfica.-** En las visitas realizadas a las diferentes zonas rurales de Pimampiro se establece las zonas con mayor población y las que constituyen nuestro principal objetivo en el estudio ya que al tener estos sitios puntos de acceso a la red WMNs se hace fácil la distribución del servicio y cobertura al resto de la población inmersa en la geografía del lugar, por lo que si ubicáramos routers inalámbricos con tecnología mesh expandiríamos los servicios no necesariamente de internet sino aplicaciones locales.
- **Población de mayor requerimiento.-** En vista de que los estudiantes de escuelas y colegios son el principal ente productivo para el desarrollo de dichas parroquias es indispensable que puedan acceder a una información veraz y oportuna en temas académicos políticos y sociales para lo cual se requiere tener unas buenas Tics¹⁹.

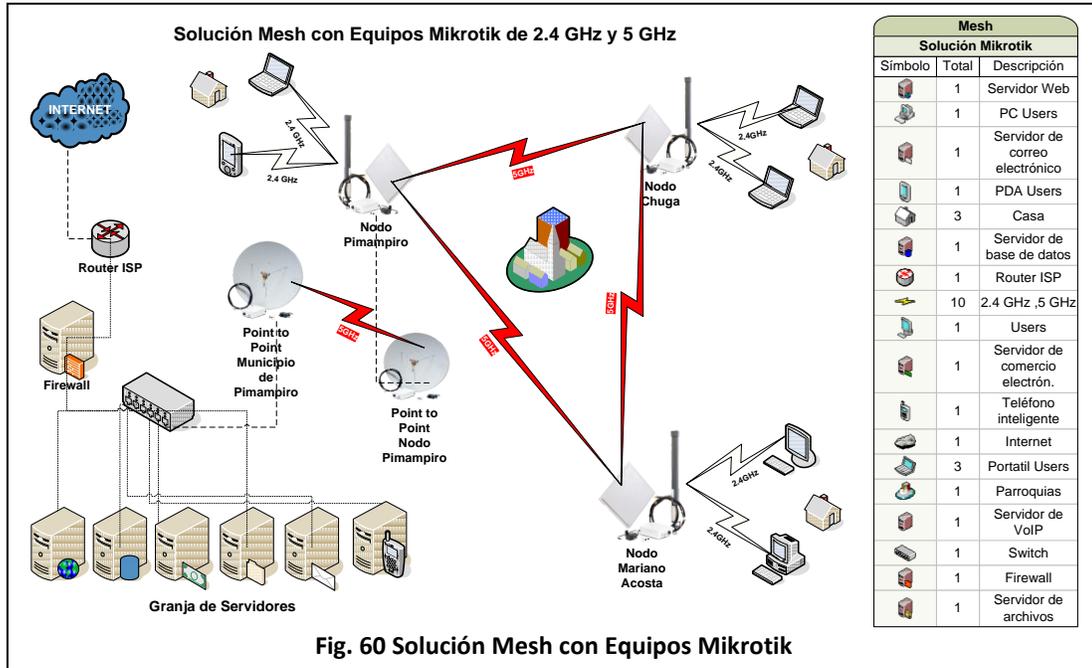
Con tecnología Mesh se lograría tener centros educativos modernos y por ende estudiantes con un mejor nivel académico llegando a cumplir con lo que se establece en la constitución política del Ecuador²⁰.

¹⁹ TICs Tecnologías de la información y comunicaciones

²⁰ Constitución del Ecuador Sección Octava de la Educación Artículo 66.

La visión principal es diseñar un backbone principal que constituye la columna vertebral de nuestro diseño el cual garantizara la conectividad en las zonas rurales, el estándar utilizado para estos enlaces será el IEEE 802.11.

En la siguiente figura se indica la propuesta del diseño de nuestra red WMNs



6.3 Requisitos para el diseño de la red WMNS

6.3.1 Requisitos Generales

- Implementación Accesible.- Los equipos de los nodos principales de la red deben ser de accesible instalación, configuración e implementación.
- Enlaces Robustos.- El enlace debe ser solido y con una redundancia en las rutas de acceso, debe tener una fácil auto detección y corrección de problema que existieran dentro de la red.
- Estabilidad en el enlace.-Al tener una red redundante garantizamos la estabilidad del enlace y con ello la permanencia del servicio.
- Ancho de Banda.- Obtener un buen ancho de banda que permita brindar servicios de voz, video, aplicaciones e Internet con QoS²¹

²¹ QoS Calidad de Servicio

6.3.2 Requisitos Específicos

- Aseguramiento del Throughput.- Es el aseguramiento y rendimiento real del ancho de banda que nos brinda la red. El rendimiento se mide generalmente en bits por segundo (bit / s, o bps).

- Topología de la Red.- Para nuestro backbone utilizaremos la banda 5.8 GHz que es útil para el enlace de los nodos principales y con ello asegurar nuestra columna vertebral del enlace, esta banda pertenece al estándar IEEE 802.11a.

Para nuestro backhaul utilizaremos la banda de 2.4 GHz con la cual permitiremos la conexión de nuestros clientes fijo o móviles la conectividad inalámbrica de estos dispositivos utiliza el estándar IEEE 802.11 b/g.

- Requisitos de funcionamiento

Para nuestra infraestructura mesh el ping es uno de los principales monitoreos el cual nos permite evaluar la latencia de nuestra red, la que debería estar en valores aceptables con lo que nos permitirá que nuestras aplicaciones funcionen a un 100%, en el caso específico de voz ip es una de las aplicaciones en las que requieren que la latencia de extremo a extremo de un nodo sea menor.

- Requisitos del protocolo de enrutamiento

El protocolo para la implementación de la red mesh que cumple con los requerimientos de esta es el MME (Mesh Made Easy) el cual consiste en la creación de áreas y permite minimizar los updates de ruteo, este tipo de enrutamiento permite que nuestra red sea dinámica y funcional en cualquiera de los puntos de cobertura mesh.

- Seguridad

Para que nuestra red sea funcional y trabaje acorde a nuestros requerimientos se requiere que sea segura trabajando con servicio de autenticación, privacidad e integridad, una de los principales servicios de encriptación en la implementación de nuestra red es el WPA (Acceso Inalámbrico Protegido).

6.4 Descripción de la tecnología a emplearse en el diseño de la red WMNs

6.4.1 Redes WI-FI para largas distancias

La tecnología wifi es una solución para llegar a lugares distantes que permitan conectarse y compartir los diferentes servicios internet, voz sobre ip, correo electrónico y aplicaciones locales. Realizando la creación de una red de gran capacidad en la cual se puedan brindar un mayor ancho de banda para las aplicaciones locales es decir utilizando el estándar IEEE 802.11.

Ventajas:

Al ser estas bandas 2.4 y 5.8 de frecuencia libre el uso de las mismas representa un ahorro económico y velocidades desde 1Mbps hasta 54 Mbps

Los estándares con los cuales trabajan son ampliamente conocidos y sencillos de configurar debido a la gran documentación existente en la web.

La frecuencia 2.4 es compatible con los diferentes equipos fabricados para los clientes: tarjeta PCI, Wireless, USB Wireless, portátiles, PALM, celulares con tecnología wifi.

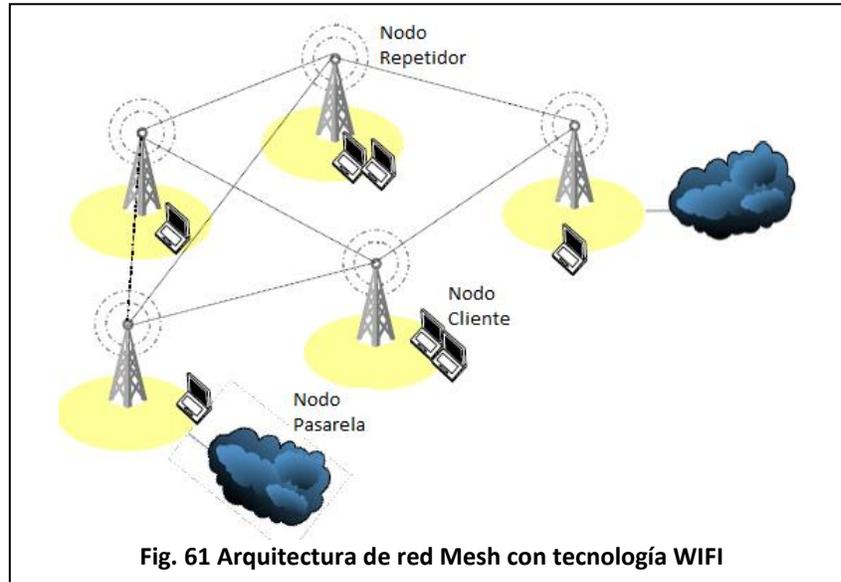
Desventajas:

Debe existir una línea de vista de al menos un 60 o 70% libre de interferencias entre los nodos principales y también entre el nodo cliente.

En la frecuencia de 2.4 se presentan problemas de interferencia debido a que la frecuencia es libre y tiene un número limitado de canales que podrían ser utilizados, por lo tanto existe un aumento de colisiones y pérdidas de la señal inalámbrica en la transmisión.

6.4.2 Arquitectura Mesh para redes WI-FI para largas distancias

Una arquitectura en malla permite que cada nodo receptor actúe simultáneamente como nodo emisor. De esta forma, cada nuevo dispositivo que se añade a la red utiliza capacidad de ésta, pero también aporta recursos. Se trata por tanto de un modelo similar a la estructura de encaminamiento de Internet. Al no ser necesaria una comunicación directa con el punto de destino, se puede aumentar significativamente el número de dispositivos sin aumentar (de forma notoria) el nivel de interferencia.



Una red mesh expande su cobertura esencialmente logrando cubrir un gran número de áreas y teniendo una ventaja de tolerancia a fallos. Al incrementar un nuevo nodo se debe configurar correctamente sus interfaces inalámbricas, esto establece una diferencia funcional de nodos que son:

Nodo Pasarela.- Es una estación dotada de conectividad final a internet permitiendo al resto de nodos de la red inalámbrica acceder a través de ella a los servicios de internet; en algunas ocasiones pueden existir uno o varios nodos pasarelas en la red inalámbrica lo cual no es muy común pero puede darse este caso.

Estos nodos frecuentemente tendrán que desempeñar las funciones de NAT²² (traducciones de direcciones de red).

Nodo Repetidor.- Los distintos repetidores se unen formando el backbone (columna vertebral) que se encarga de conmutar las comunicaciones con otros nodos.

Nodo Cliente.- Son aquellas que se benefician y hace uso de todos los servicios que la red pone a su servicio. Estos servicios se basan principalmente en correo electrónico, internet, voz sobre ip, y acceso a aplicaciones locales.

²² NAT (**Network Address Translation - Traducción de Dirección de Red**) es un mecanismo utilizado por routers IP para intercambiar paquetes entre dos redes que se asignan mutuamente direcciones incompatibles. Consiste en convertir en tiempo real las direcciones utilizadas en los paquetes transportados. También es necesario editar los paquetes para permitir la operación de protocolos que incluyen información de direcciones dentro de la conversación del protocolo.

6.5 Enlaces WI-FI

Un Enlace WiFi es la conexión de dos o más puntos realizados mediante el uso de la tecnología inalámbrica WiFi (802.11a - 802.11b - 802.11g - 802.11n).

Básicamente es como si existiera un cable de red entre dos radios, cada uno asociado a una antena, separada por la trayectoria que se cubriría. Para tener una comunicación entre ambos se requiere que la señal proveniente de la antena sea lo suficientemente fuerte para cumplir con dicho requerimiento. El proceso con el cual se establece la viabilidad del enlace se denomina cálculo del presupuesto de potencia. La calidad del equipo mejora las señales para que puedan o no ser enviadas entre los radios y ayuda en la disminución de la señal debido a la distancia, denominada pérdida de trayectoria.

6.5.1 El Cálculo de los enlaces

Para garantizar la estabilidad de un enlace Wifi primero debemos tener claro todos los valores de pérdidas y ganancias relativos al enlace.

Entre los datos imprescindibles para el enlace están:

6.5.1.1 Pérdidas en el espacio libre

Las señales emitidas al aire se ven afectadas por diferentes factores sean estos tangibles e intangibles (arbustos, neblina densa), pero también por el propio aire. Es decir, es la cantidad de señal que se pierde al atravesar el espacio.

En un espacio sin obstáculos, la pérdida de propagación se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$P_p = 20\log_{10}(d/1000) + 20\log_{10}(f*1000) + 32,4 \quad \text{EC. 9}$$

Donde P_p indica la pérdida de propagación en decibelios (dB), d es la distancia en metros y f es la frecuencia en GHz. EL valor de la frecuencia depende del canal en el que se tenga configurado el equipo.

6.5.1.2 Potencia de emisión

Es el nivel de señal que entrega el punto de acceso en la toma de la antena. Este nivel de señal puede venir expresado en decibelios (abreviado como dBm) aunque también hay fabricantes que indican la potencia directamente en mili vatios (mW).

6.5.1.3 Potencia de Transmisión

La potencia de transmisión es expresada en mili vatios o en dBm, tiene un rango de 30 a 200 mW o más.

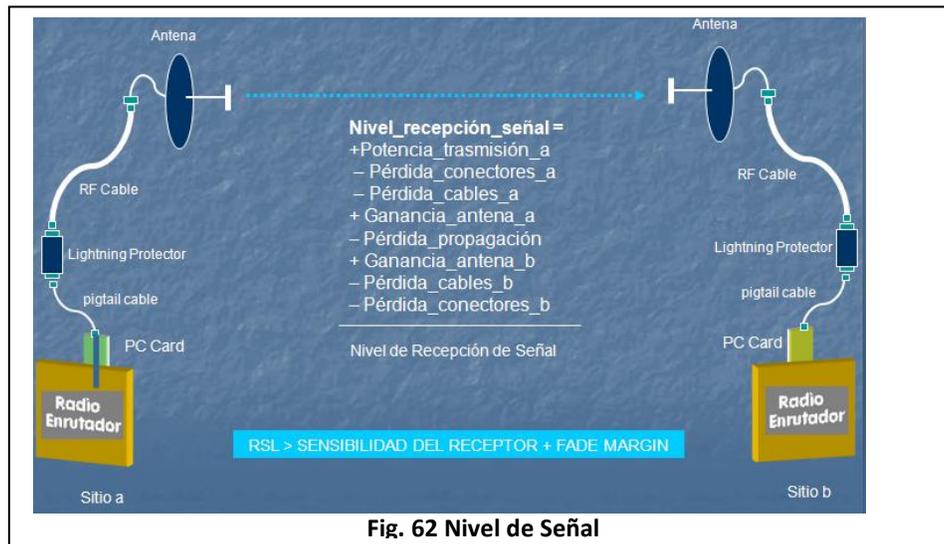
La potencia de transmisión en la mayoría de casos depende de la tasa de transmisión, la potencia de transmisión es una característica que el fabricante lo especifica en las características del equipo.

6.5.1.4 Ganancia de las Antenas

Es un factor crítico tanto para la emisión como para la recepción de la señal, cuanto más alta sea la ganancia de la antena, más distancia se puede alcanzar en un enlace.

La ganancia de la antena está normalmente dada en decibelios [dBi]. Es la ganancia de energía en comparación con una antena isótropa (antena que difunde energía en todas las direcciones con el mismo poder). Cuanta más ganancia tenga la antena mayor es la directiva (energía enviada en una dirección determinada). La ganancia de la antena es la misma para recibir y transmitir.

6.5.1.5 El Mínimo Nivel de Señal Recibida



La sensibilidad del receptor es expresada siempre en decibelios negativos, es el nivel más bajo de la señal que una red inalámbrica puede recibir. El mínimo nivel de señal depende de la tasa de transmisión y tiene la mayor sensibilidad. El valor mínimo generalmente se encuentra en el rango desde -75dBm hasta -95dBm. En igual forma que la potencia de transmisión las especificaciones mínimas de señal deberán ser entregadas por el fabricante del equipo.

6.5.1.6 Pérdidas en los Cables y conectores

Todo cable, conector o adaptador presenta pérdidas al paso de la señal de radio. Estas pérdidas son valores muy específicos de cada marca y modelo de cable, lo mismo que la calidad de los conectores y pigtails.

Tipo de cable	Pérdida 802.11b/g (2.4GHz) dB/1m
LMR-100	1.3 dB por metro
LMR-195	0.62 dB por metro
LMR-200	0.542 dB por metro
LMR-240	0.415 dB por metro
LMR-300	0.34 dB por metro
LMR-400	0.217 dB por metro
LMR-500	0.18 dB por metro
LMR-600	0.142 dB por metro
LMR-900	0.096 dB por metro
LMR-1200	0.073 dB por metro
LMR-1700	0.055 dB por metro
RG-58	1.56 por metro

Tabla 8 Pérdida de Cables y Conectores

Fuente: <http://www.seguridadwireless.net/hwagm/conectores-cables.html>

6.6 Software de Cálculo de enlaces

Es una herramienta, la cual nos ayuda a realizar el cálculo de la factibilidad del enlace indicando los niveles de señal de un punto a otro, adicionalmente calcula la pérdida en el espacio libre, tomando en cuenta factores como: efectos del terreno, clima, pérdida en el trayecto en áreas rurales, zonas boscosas, etc.

Para el estudio se utilizara una herramienta gratuita la que nos permite el cálculo de los enlaces inalámbricos conocido como Radio Mobile.

6.6.1 Radio Mobile

Radio Mobile es una herramienta para ayudar en la elaboración de redes de comunicación de radio. Por lo tanto Radio Mobile evalúa si un enlace de radio es posible entre dos sitios que se enlazan, y proporciona el rendimiento de dicha relación. [60]

El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

Radio Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo.

Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA, Shuttle Terrain Radar Mapping Misión (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m).

Radio Mobile usa un modelo digital de evaluación del terreno para el cálculo de la cobertura, indica la intensidad de la señal recibida en varios puntos a lo largo de su trayectoria. Diseña automáticamente un perfil entre dos puntos en un mapa digital desplegando el área de cobertura y la primera zona de Fresnel. A lo largo de dicha simulación verifica la línea de vista y calcula la pérdida de trayectoria, incluyendo pérdidas debido a obstáculos. Radio Mobile permite crear redes de diferentes topologías como son: point to point, point – multipoint, mesh.

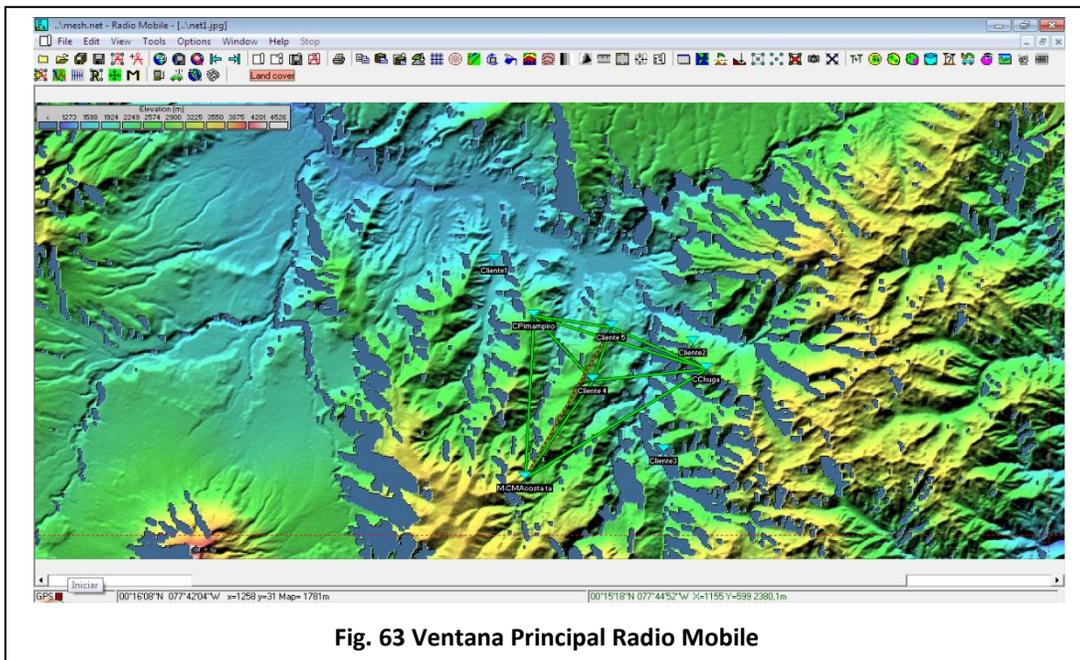


Fig. 63 Ventana Principal Radio Mobile

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 y 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 puede utilizar una variedad de fuentes de datos geográficos. Estas fuentes se dividen en datos de altura (DEM), datos para fines de orientación.

Las fuentes de datos aquí mencionados pueden ser utilizadas en Radio Mobile sin embargo, no todos están disponibles para el mundo entero. Algunas fuentes sólo están disponibles para América del Norte (Canadá, EE.UU.).

Altura de datos (DEM):

- ✓ SRTM 1, 3 SRTM es un proyecto internacional liderado por la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA).
- ✓ DTED 0, 1, 2 DTED (o digital de elevación del terreno de datos) fue desarrollado originalmente en la década de 1970 para apoyar a las aeronaves de simulación y predicción del radar.
- ✓ GTOPO30 es un modelo global de elevación digital (DEM) con una rejilla horizontal espaciamiento de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 kilómetro). GTOPO30 se derivó de la trama de varias fuentes y vectores de información topográfica.
- ✓ GLOBE es una organización internacional diseñado, desarrollado, y con independencia revisada por expertos en el modelo global de elevación digital (DEM), en una cuadrícula de latitud y longitud con espacio de 30 segundos de arco (1 Km). El proyecto en curso hace uso de varias fuentes de datos para alcanzar la alta calidad de datos.

Orientación de datos:

- ✓ Landsat.- El Programa Landsat es una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite, administrado conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de EE.UU. Desde 1972, los satélites Landsat han recopilado información sobre la Tierra desde el espacio. Esta ciencia, conocida como la teledetección, ha madurado con el programa Landsat.
- ✓ Mappoint es el software de cartografía de Microsoft. El Mappoint también se utiliza por Expedia.
- ✓ MapQuest.- ofrece internet, servicios inalámbricos y aplicaciones de negocio de mapas que ayudan a las personas a encontrar lugares y llegar hasta allí.
- ✓ OpenStreetMap.- Es un mapa editable libre del mundo. OpenStreetMap te permite ver, editar y utilizar los datos geográficos en un entorno de colaboración desde cualquier lugar en la Tierra. OpenStreetMap crea y proporciona datos geográficos libres, tales como mapas de calles a cualquiera que los quiera.

- ✓ TerraServer.- Ha reunido a la mayor variedad de fotografías aéreas, imágenes satelitales y mapas topográficos de US en Internet. TerraServer sólo está disponible para EE.UU.
- ✓ Internet Tigre.- Sólo está disponible para América del Norte.
- ✓ Internet Toporama
- ✓ Expedia
- ✓ ADRG Cadrg
- ✓ Google Maps

6.6.2 Instalando Radio Mobile

Si bien, la utilización del programa, es muy sencilla, los problemas y las dudas pueden surgir durante el proceso de instalación, por ello a continuación encontrarán los pasos a seguir para conseguir una correcta instalación que permita explotar todas las características del programa al máximo.

PASOS A SEGUIR:

1. La página para la descarga es www.cplus.org/rmw/english1.html
2. En el margen izquierdo, se puede observar el término “Download” donde encontrarán todos los archivos y links necesarios para la correcta instalación del programa.
3. Para que la instalación sea correcta se deben ir descargando cada uno de los archivos que nos presenta la página web de la siguiente forma:

Antes de comenzar, se debe crear una carpeta con el nombre Radio Mobile, en un lugar seguro de nuestro PC y de fácil acceso, puesto que en su interior encontraremos tras la instalación, todos los elementos que utilizará el programa para funcionar de forma correcta.

- Punto 1: descarga del contenido del link en la carpeta Radio Mobile y descompresión en esa misma carpeta.
- Punto 2 y 3: se debe realizar el mismo procedimiento que en el punto anterior, descomprimiendo en la misma carpeta.
- Punto 4: crear una nueva carpeta dentro de Radio Mobile, y denominarla “Directorio Trabajo”, descargando el link en esta nueva carpeta.

Los siguientes tres fichero, se descargarán en Radio Mobile, y se descomprimirán del mismo modo.

Una vez finalizados estos pasos, se ha realizado correctamente la instalación.

4. Inicio del programa con doble clic en el icono RMWDLX

En la siguiente figura se muestra la estructura de Radio Mobile luego de la instalación.



Fig. 64 Estructura de Radio Mobile

CONFIGURACIÓN:

Para comprender un poco más a fondo la configuración que vamos a llevar a cabo, basta con saber qué hace exactamente el Radio Mobile. Se supone se quiere trabajar con los mapas de una determinada zona geográfica, por lo que Radio Mobile, lo que nos facilita son dichos mapas descargándolos de Internet. Radio Mobile, acepta tres tipos de archivos y por tanto de mapas diferentes: STRM, GTOPO30 y DTED. Con esta sencilla explicación, se puede pasar sin mayor dificultad a la configuración propia del programa.

1. Se configurarán los distintos destinos de los mapas que obtengamos de la red. El camino seguido será: OPTIONS-INTERNET y en STRM se configurará el lugar al que nuestro programa mandará todos aquellos mapas recuperados de Internet, con dicha extensión, por ello se debe crear una nueva carpeta dentro de "Directorio Trabajo" denominada STRM, y en BROWSE se marcará dicho destino. Se seleccionará la segunda opción "Download from Internet if a file is not found on local path and sep a local copy" Pulsando APPLY, los datos se guardarán en nuestro programa de forma permanente.
 2. Se deben crear dos carpetas más en "Directorio Trabajo" con los nombres GTOPO30 Y DTED. Ahora, para conseguir que nuestro programa tome los archivos descargados y los utilice, se debe configurar FILE-MAP PROPERTIES, en concreto la casilla "Elevation data source". Se situarán en cada una de las tres primeras casillas, una de las extensiones conocidas y configuradas, bien SRTM, bien GTOPO30 o DTED y con BROWSE marcar el camino en el que se encuentran las carpetas recientemente creadas.
- Se marcará la casilla "Ignore missing files", para evitar que en caso de ausencia de ficheros, aparezcan continuamente mensajes de error.

Una vez configurado de esta forma, se puede comenzar a trabajar, pero antes se expondrán varios ejemplos prácticos en diseño de redes.

NOTA: hay que tener extremo cuidado en el nombre de las carpetas dentro del directorio de trabajo, puesto que un cambio en alguna consonante cambiaría la extensión de los mapas que el programa busca en la red, y por tanto no descargaría la documentación para trabajar con el Radio Mobile.

6.6.3 Guía de utilización del software radio Mobile

6.6.3.1 Comentarios previos y definiciones importantes

Esta es una lista de parámetros, variables y valores que se utilizan en Radio Mobile. Cada definición se explica en detalle para entender más.

Un archivo *Networks* (*.net) incluye:

- ▶ Parámetros de propagación, topología y las unidades que pertenecen a cada una de las 25 redes que puede almacenar en memoria.
- ▶ Datos técnicos para los 25 sistemas que puede almacenar.
- ▶ Propiedades de hasta 50 unidades almacenadas en memoria.
- ▶ Nombres de archivo del mapa (*.map) y las imágenes.
- ▶ Valores de altura de antenas para unidades cuyo valor de altura difiere del definido en el sistema.

6.6.3.2 Notación de Radio Mobile

Para trabajar con Radio Mobile, es necesario entender la terminología utilizada en el programa:

- **Network:** es un grupo de unidades de radio (*units*) que operan en el mismo rango de frecuencias bajo las mismas condiciones climatológicas y condiciones del terreno (en términos de porcentaje de suelo urbano o rural).
- **System:** especificación funcional de un sistema que incluye parámetros de antena (potencia de transmisión, umbral de recepción, pérdidas del circuito de antena, diagrama de radiación y ganancia), pérdidas del cable y altura de la antena sobre el suelo. A cada unidad radio física remplazada (*unit*) se le asocia una especificación funcional (*system*) entre las definidas.
- **Unit:** unidad radio física con posición geográfica y especificaciones de un tipo de sistema entre los definidos (*system*).

- **Membership:** definición de qué unidades radio físicas emplazadas pertenecen a una red (*network*), cuáles son sus especificaciones (*system*) y cuál es su rol en la topología de la red.

6.6.3.3 Modelo Longley – Rice

El modelo de propagación de ITS de radio para frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz (el modelo de Longley-Rice) (el nombre de Anita Longley & Phil Rice, 1968) es un modelo de propósito general que puede aplicarse a una gran variedad de problemas de ingeniería. El modelo, que se basa en la teoría electromagnética y en análisis estadísticos de los accidentes del terreno y las mediciones de radio, predice la atenuación media de una señal de radio en función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y en el espacio.

6.6.3.3.1 Parámetros generales

Las variables de entrada del modelo de Longley-Rice indican los valores permitidos o los límites para los cuales el modelo ha sido diseñado.

Los parámetros del sistema están asociados al conjunto de equipos de radio involucrados y son independientes de las condiciones ambientales.

1. *Frecuencia:* La frecuencia portadora de la señal transmitida varía entre 20Mhz a 40 GHz.

El modelo ITM es relativamente insensible a la frecuencia, frecuentemente un valor definido puede cubrir un amplio ancho de banda.

2. *Distancia:* La distancia circular entre dos terminales y puede ir desde 1Km a 2000Km.

3. *Altura de antenas:* Corresponde a la altura del centro de radiación por sobre la elevación del terreno, se define en cada terminal, esta puede ser de 0.5m a 3000m.

4. *Polarización:* La polarización de las antenas puede ser vertical u horizontal. El modelo asume que ambas antenas utilizan la misma polarización.

6.6.3.3.2 Parámetros específicos para el modelo de Longley-Rice

Los parámetros del entorno describen estadísticamente las características del lugar en donde operará el sistema. Estos parámetros son independientes del sistema de radio.

Variable de terreno irregular Δh : Las irregularidades del terreno que se encuentra entre dos terminales se tratan como una función aleatoria de la distancia entre los terminales.

Para caracterizar esta función, el modelo ITM utiliza un único valor de Δh para representar de forma simplificada la altura promedio de las irregularidades en el terreno.

Forma del terreno	Δh (m)
Plano o superficie del agua	0
Llanura	30
Colinas	90
Montañas	200
Montañas escabrosas	500
Para un nivel promedio usar $\Delta h = 90$ m	

Tabla 4: Valores sugeridos para el parámetro de terreno irregular.

Fuente: <http://www.haps.cl/documentos/04.pdf>

Constantes eléctricas del terreno: La permitividad relativa (constante dieléctrica) y la conductividad de la tierra. Valores sugeridos se indican en la tabla.

Tipo de suelo	Permitividad Relativa	Conductividad (S/m)
Tierra promedio	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra buena	25	0.020
Agua Dulce	81	0.010
Agua Salada	81	5000
En la mayoría de los casos usar las constantes de tierra promedio		

Tabla 5: Valores sugeridos para las constantes eléctricas del terreno.

Fuente: <http://www.haps.cl/documentos/04.pdf>

Refractividad de la superficie N_s : Las constantes atmosféricas y en particular la refractividad atmosférica, deben ser tratadas como funciones aleatorias de posición y tiempo. En la mayoría de los casos esta función aleatoria puede ser caracterizada por un valor único N_s que representa el valor normal de la refractividad cercana al nivel de la tierra o superficie. Usualmente se mide en N unidades (partes por millón), los valores sugeridos se indican en la siguiente tabla.

Clima	Ns(N-unidades)
Ecuatorial	360
Continente subtropical	320
Marítimo Subtropical	370
Desierto	280
Continental temperado	301
Marítimo temperado, sobre la tierra	320
Marítimo temperado, sobre el mar	350
Para condiciones promedio usar el clima continental temperado y Ns = 301 N-unidades	

Tabla 6: Valores sugeridos para Ns en función del clima.

Fuente: <http://www.haps.cl/documentos/04.pdf>

Clima: Se describe cualitativamente por un conjunto discreto de etiquetas. Los climas reconocidos actualmente se indican en la tabla 6. En conjunto con Ns, el clima se utiliza para caracterizar la atmósfera y su variabilidad en el tiempo.

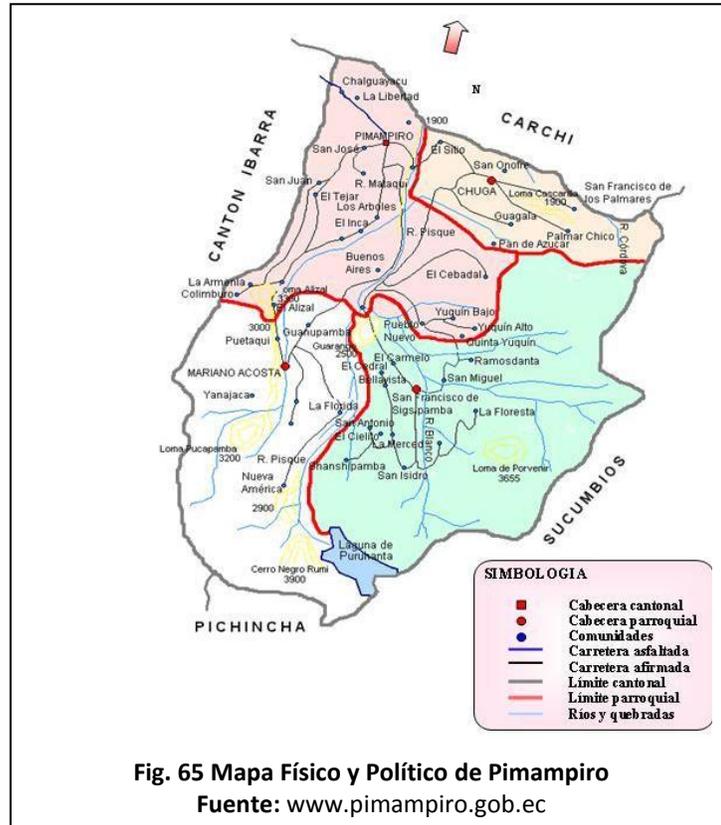
6.7 Estudio de Campo

El realizar un estudio de campo nos permite divisar las condiciones reales en las que se podría implementar y poner en marcha una red WMNs tomando como los principales aspectos los siguientes: condiciones climáticas, condiciones técnicas, topología del terreno, accesos a nodos donde se instalaran las radio bases, determinando si existiere o no línea de vista entre las radio bases que conformarían nuestro backbone.

6.7.1 Equipo utilizado en el estudio de Campo

Para el estudio de campo se ha utilizado algunas herramientas con las cuales se ha llegado a recopilar la información real del lugar donde se realiza el estudio para el diseño de la red mesh, dichos equipos se los describe a continuación.

- ▶ Mapa Físico y Político de la ciudad de Pimampiro.- Los cuales se obtuvieron desde la página de internet, con los cuales se estableció los diferentes lugares a los cuales se debió acudir para realizar el estudio.



- ▶ GPS (Global Position System).- Con este equipo se establecieron los puntos exactos importantes donde se colocarían nuestros nodos, este equipo nos indica la dirección exacta a través de las coordenadas de latitud y longitud, el equipo utilizado fue un GPS Garmin 60 (fig.66).



- ▶ Cámara Fotográfica.- Con este equipo se pudo obtener imágenes de los lugares visitados.



- ▶ Hoja de información.- En la cual se realizo la recopilación de los datos obtenidos mediante el gps.

Parroquia	Latitud	Longitud
Pimampiro	00° 23' 56,10'' N	77° 59' 20.26'' O
Chugá	00° 22' 01,87'' N	77° 53' 32.48'' O
Mariano Acosta	00° 18' 09,62'' N	77° 59' 36.75'' O

6.7.2 Análisis de los resultados del estudio de Campo

Aquí se describirá los resultados obtenidos en las diferentes visitas a la zona de estudio, en las cuales se llevo a constatar las necesidades reales en las diferentes parroquias de la ciudad de Pimampiro y los sectores aledaños como Chugá, Mariano Acosta, etc. pese a ser una ciudad en desarrollo todavía existen lugares en los cuales no tienen acceso al servicio de internet.

Primero se realizo una visita para conocer el área de estudio.

En la segunda visita que se realizo fue para conocer todos los sectores de Pimampiro para conocer el estado de las carreteras, alrededor el número de pobladores de cada zona, la geografía, tipo de terreno y establecer los puntos en los cuales se colocarían los nodos de nuestro backbone y backhaul. Se establecieron las zonas con mayor numero de población ya que la idea es que los diferentes servicios lleguen no sólo a la parte céntrica sino vaya hacia las zonas rurales y posteriormente se incluyan otras zonas sin ningún inconveniente gracias a la utilización de la tecnología wifi en redes mesh.

Además se estableció una visita en la cual se dialogo con el departamento de sistemas de la municipalidad para establecer la infraestructura actual de la red existente.

A continuación se detallara los resultados en cada parroquia.

6.7.2.1 Parroquia Pimampiro

Actualmente cuenta con un camino en muy buenas condiciones es asfaltado y se encuentra a 1 hora de la Ciudad de Ibarra correspondiente a la provincia de Imbabura.

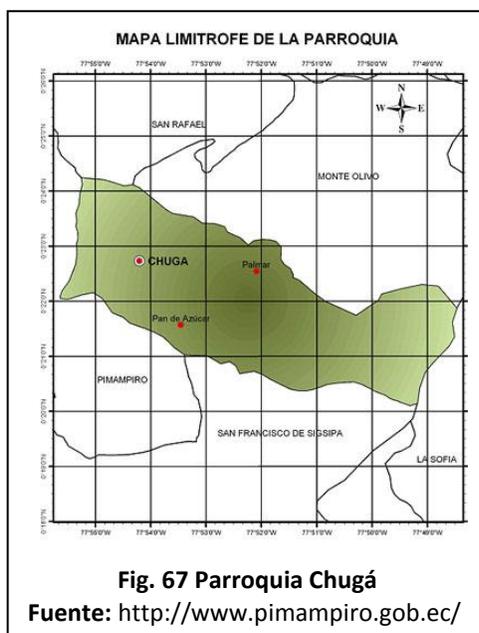
Para la movilización hacia la zona cuenta con buses con una frecuencia de alrededor de 20 min.

En el lugar se constato que cuentan con buena infraestructura física existen casas de hormigón armado, el sector está enfocado a la actividad agrícola.

En esta parroquia en la municipalidad de Pimampiro por ser el concentrador principal se recopiló información por parte de los ingenieros del área de sistemas quienes nos informaron que cuentan con la siguiente infraestructura tecnológica:

- Servicio de Internet de 2Mbps simétrico, el servicio es brindado por CNT
- La última milla con la cual llega este proveedor el servicio es a través de cobre.
- Cuentan con un servidor Linux con el SO de Ubuntu Server el cual sirve de proxy para poder brindar el servicio hacia otras comunidades, también permite controlar anchos de banda para dichas comunidades.
- Cuentan con un servidor Windows 2003 server en cual se encuentra alojada el sitio web de la parroquia. (www.pimampiro.gob.ec)
- Actualmente tienen un rack de piso de 42U.
- Un switch de 48 puertos y equipos cisco
- Proporciona el servicio a infocentros en los lugares principales.

6.7.2.2 Parroquia Chugá



Actualmente cuenta con un camino empedrado y se encuentra a 45 min de la Ciudad de Pimampiro. Para la movilización hacia la zona cuenta con camionetas, las cuales no existen con mucha frecuencia. La parroquia Chugá se encuentra entre los 1.750 y 3.880 msnm; la cabecera parroquial se encuentra en los 2.680 msnm. Su superficie es de 47,97 km².

Chugá vecina al este con la provincia de Sucumbíos (Reserva Cayambe Coca); al occidente con río Mataquí que colinda con Pimampiro (parroquia Matriz); al norte río Espejo – Córdova y Escudilla con la parroquia de San Rafael y parte de la parroquia Monte Olivo del cantón Bolívar

Contando con una buena infraestructura vial y de servicios básicos, especialmente del agua purificada y una educación de calidad.

6.7.2.3 Parroquia Mariano Acosta

Es una parroquia rural del Cantón Pimampiro, Provincia de Imbabura, se encuentra a una altura que va de los 2.080 y 3.960 ms sobre el nivel del mar. Con una área geográfica de 133,76 km². Su clima es templado, con un hermoso paisaje y una tierra generosa.

La Parroquia Mariano Acosta está constituida por 4 comunidades rurales y el centro parroquial, en donde se encuentran las principales instancias de administración y servicios públicos, como: Junta Parroquial, Tenencia Política, Subcentro de Salud, Centros Infantiles, Escuela y Colegio. La Tenencia Política es la encargada de aplicar la justicia, controlar y solucionar problemas y conflictos. Los problemas internos a las comunidades pueden ser resueltos por sus cabildos

Actualmente cuenta con un camino empedrado y se encuentra a 45 min de la Ciudad de Pimampiro.

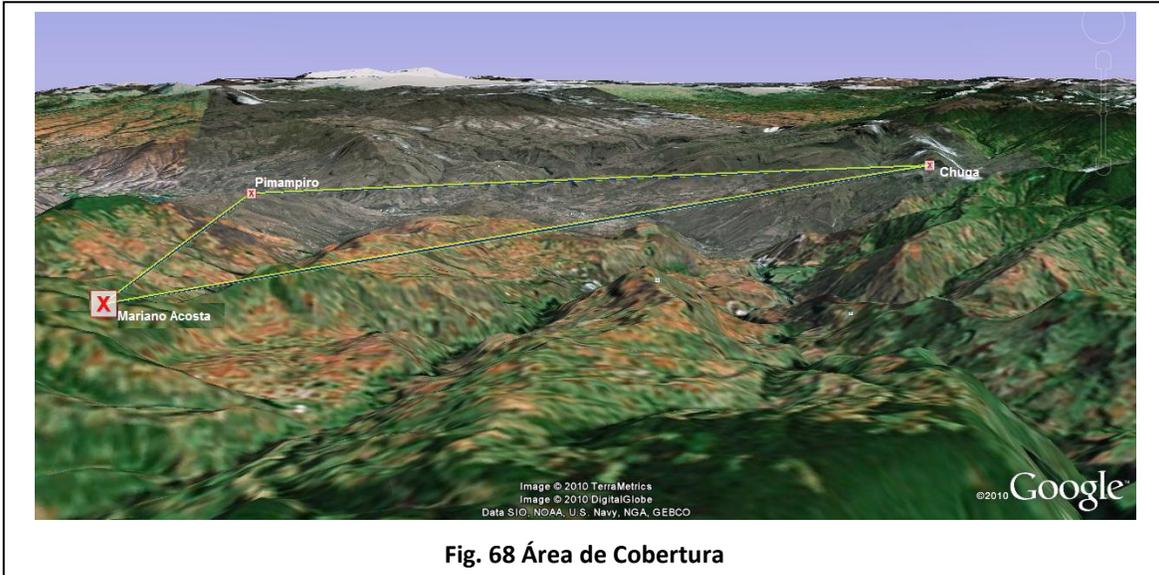
Para la movilización hacia la zona cuenta con camionetas, las cuales no existen con mucha frecuencia.

La actividad principal de los habitantes de esta parroquia es la agricultura.

6.7.2.4 Análisis del terreno

Al visitar el terreno donde se implementara nuestra red mesh se pudo constatar del tipo de terreno, elevaciones montañosas y posibles accidentes geográficos los cuales nos proporcionaran la información necesaria para ingresar en el Radio Mobile.

En la figura que a continuación mostramos se puede divisar el área de cobertura en la que se podrá brindar el servicio a través de la red Mesh, en dicha área se puede verificar claramente que existen algunos accidentes geográficos, zonas montañosas lo cual dificulta en forma relativa la implementación de los nodos para lo cual mitigaremos dichas dificultades utilizando torres auto soportadas.



En las siguientes imágenes fotográficas se puede divisar claramente todos los accidentes geográficos que muestra el terreno.



6.7.2.5 Interferencias

Es aquella que no permite que la señal se disperse completamente por lo tanto ocasiona que la misma tienda a debilitarse o perderse por completo.

Los obstáculos que causan interferencia pueden ser de tres tipos:

1. Los que retienen la señal y que son inherentes a toda casa (paredes, suelo, muebles, etc.). Mientras la cantidad de obstáculos que deba atravesar la señal sea menor mayor es la cobertura.

2. Los que modifican la señal y que son en su mayor número objetos metálicos (tal como aparatos metálicos los cuales reflejan las ondas y las llenan de ruido). Cuanto más alejados de ellos mejor será el alcance.
3. Los equipos que compiten por la señal (aquí englobamos a todos los equipos inalámbricos que utilicen la misma frecuencia del router). Lo ideal es adquirir dispositivos inalámbricos que utilicen una frecuencia distinta a 2.4 GHz.

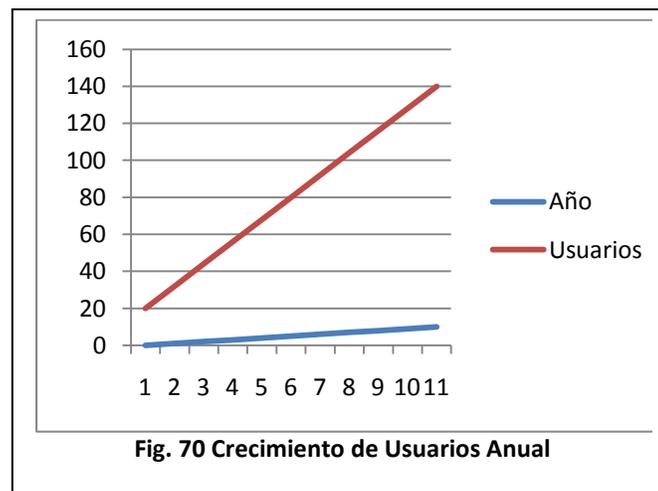
Otra de las posibles interferencias que se nos podría presentar en nuestro enlace sería la lluvia y la nubosidad espesa las cuales podrían ser un factor de atenuación en la emisión y recepción de la señal.

6.8 Requerimientos de ancho de banda de la red WMNs

Para poder obtener los requerimientos de ancho de banda es necesario el tener claro que es una ancho de banda; el cual lo podríamos conceptualizar en que es la capacidad de transferir datos, la cantidad de datos que se pueden mover de un punto a otro en cierta cantidad de tiempo.

6.8.1 Requerimientos de tráfico para cada aplicación

Para poder realizar un buen estudio e ingeniería de tráfico que utilizarían las aplicaciones dentro de la red se requiere el tener un estudio estadístico por cada una de las aplicaciones a utilizar con lo que podríamos determinar un ancho de banda aproximado de uso por aplicación, considerando que se requiere dar acceso a la mayoría de la población se ha estimado que el número de usuarios promedio anualmente tendría un crecimiento de alrededor de doce usuarios, partiendo en el año cero donde se ha considerado alrededor de 20 usuarios, este crecimiento se indica en el siguiente gráfico.



6.8.1.1 Acceso a Internet

El ancho de banda que actualmente utiliza el municipio de Pimampiro es de 2 Mbps con compartición 1 a 1 es decir es un canal simétrico con 2Mbps para uploads y de igual forma para downloads, mientras que los servicios para hogares tienen una mayor compartición dependiendo del proveedor en el cual se contrate este servicio, como en este caso la compartición para hogares en muchos casos es de 6 a 1, 8 a 1 o 12 a 1, en los cuales cuando existe la utilización del servicio de todos los usuarios a la vez se presentaran un degradamiento del ancho de banda , es por eso que se ha estimado dotar a un grupo de 12 usuarios un ancho de banda de 256/128 Kbps, con el cual se accederían a las diferentes aplicaciones de Internet.

Como indica la figura 70 el crecimiento anual de usuarios podríamos determinar que en el año 0 tendríamos 20 usuarios es decir que utilizaríamos 512/256 Kbps, por lo tanto anualmente requerimos subir el ancho de banda de aproximadamente 256/128 Kbps.

6.8.1.2 VoIP

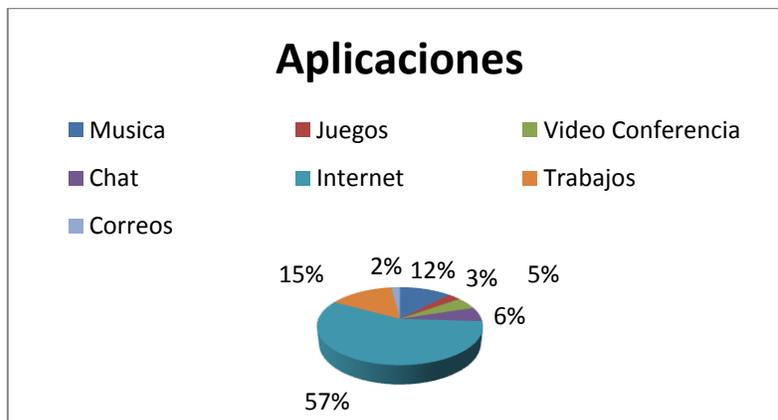
Para el servicio de voz sobre Internet se requiere un ancho de banda de aproximadamente unos 100 kbits/seg tomando en cuenta que se podría utilizar el códec G711²³ de los servidores de VoIP asterisk, por cada usuario que genere una llamada telefónica.

6.8.2.1 Análisis de Ancho de Banda para cada aplicación

En el siguiente cuadro estadístico determina el porcentaje de utilización por cada unos de los servicios que a continuación se indican.

Estos resultados nos permitirán estimar el ancho de banda total que debe tener la red mesh y también el poder determinar el número de usuarios potenciales que estarían conectados a la red.

²³ G.711, también conocido como Pulse Code Modulation (PCM), es un códec muy utilizado de forma de onda. G.711 utiliza una frecuencia de muestreo de 8000 muestras por segundo, con la tolerancia de que la tasa de 50 partes por millón (ppm). Cuantificación no uniforme (logarítmica) con 8 bits se utiliza para representar cada muestra, lo que resulta en un 64 kbits / s velocidad de bits.



Población cantonal por grupos de edad					
Grupos de edad	Pimampiro Cantón	Pimampiro parroquia	Chuga	Mariano Acosta	San Francisco
Población - menores a 1 año	250	148	34	30	38
%	2%				
Población - 1 a 9 años	2766	1680	314	437	335
%	21%				
Población - 10 a 14 años	1646	993	184	276	193
%	13%				
Población - 15 a 29 años	2897	1956	253	348	340
%	22%				
Población - 30 a 49 años	2535	1666	238	331	300
%	20%				
Población - 50 a 64 años	1535	922	140	292	181
%	12%				
Población - de 65 y más años	1322	827	108	212	175
%	10%				

Tabla 9 Población Cantonal por grupos de edad de Pimampiro

Fuente: <http://www.pimampiro.org/>

Para realizar el estudio del ancho de banda de acuerdo a la tabla anteriormente mostrada y tomando como relación la pregunta 1 de la encuesta utilizaremos como referencia los usuarios potenciales es decir de 10 a 29 años logrando tener un total de 4010 usuarios, esto quiere decir que en el caso más critico la red debería soportar a los 4010 usuarios al mismo tiempo al dar un ancho de banda de 256/128 kbps con compartición 12 a 1 los 4010 usuarios representaría alrededor de 335 usuarios.

6.8.2.1.1 Acceso a Internet

El acceso a internet nos referimos al encontrarnos navegando en la web es decir búsqueda de información por lo que en forma general se definió un ancho de banda de 256/128 Kbps y de acuerdo a la encuesta de las Aplicaciones se tiene un 57% de los encuestados que usarían el servicio de internet por lo tanto se obtendría los siguientes valores:

$$AB_{\text{INTERNET}}=256\text{kbps}*0,57*335=48883,2 \text{ Kbps}$$

Este ancho de banda sería en el supuesto caso en el que los 4010 usuarios se conectarían al mismo momento lo cual no es probable, lo más acertado es que se utilice tan sólo un 10% del ancho de banda obtenido en la ecuación anterior.

6.8.2.1.2 Aplicaciones Adicionales

Para las aplicaciones adicionales y el cálculo de ancho de banda se ha considerado el resto de aplicaciones que se realizaron en la encuesta como son: Música, Juegos, Video Conferencias, Chat, Deberes y Trabajos, para poder cubrir estos posibles tráficos se toma como referencia un promedio de unos 2 Mbps, por lo que el ancho de banda necesario para las aplicaciones adicionales sería de 10.3 kbits y de acuerdo a los resultados de la pregunta de aplicaciones es un 41%,por lo tanto obtenemos los siguientes valores:

$$AB_{\text{ADICIONAL}}=10.3\text{kbits}*0,41*4010=16934,23$$

Este ancho de banda sería en el supuesto caso en el que los 4010 usuarios se conectarían al mismo momento lo cual no es probable, lo más acertado es que se utilice tan sólo un 10% del ancho de banda obtenido en la ecuación anterior.

6.8.2.1.3 Ancho de Banda Total

El ancho de banda total para brindar el servicio de la red mesh a los sectores rurales se obtiene de la ecuación:

$$AB_{\text{TOTAL}}=48883,2 \text{ Kbps}+16934,23 \approx 66138,23$$

De acuerdo a los resultados obtenidos nuestra red mesh nos debería ofrecer un aproximado de 65 Mbps el cual se irá incrementando dependiendo del crecimiento de los habitantes.

6.9 Criterios para la planificación de frecuencias de la Red WMNs

La utilización de frecuencia en la red WMNs es de los más importantes factores que debemos tomar en cuenta para nuestro proyecto el que nos permitirá optimizar el requerimiento de nuestra red a planificar.

Las frecuencias que utilizaremos en nuestro estudio trabajan en la banda 2,4 GHZ (Clientes), la cual nos permite utilizar de 11 a 14 canales disponibles según la regulación de cada país, la frecuencia de la banda de 5.8 GHZ (backbone) el que nos permitirá armar la columna vertebral de la red mesh.

6.10 Equipos para redes WMNs

En la actualidad existen equipos computacionales desde pcs, laptops, servidores, aplayends los cuales pueden convertirse sin ningún problema en nodos mesh y su costo de acuerdo a las características del equipo puede variar en su valor. En un futuro no muy lejano existirán dispositivos móviles los que también podrán trabajar como nodos mesh, a continuación presentamos algunos equipos en los cuales se pueden implementar redes mesh.

6.10.1 Equipos Comunes para redes WMNs

6.10.1.1 EZ MESH

El Ezmesh proporciona a los usuarios una red confiable, flexible, y al mismo tiempo mejora la productividad de todo el enlace formado por este tipo de equipos, aumenta la seguridad y alienta al desarrollo económico.

Ezmesh ofrece acceso WiFi utilizando la tecnología de malla inalámbrica con Plug-n-Play de fácil instalación, y permite a los proveedores de servicios inalámbricos ofrecer una verdadera red inalámbrica en grandes áreas geográficas u otras zonas donde el cableado es demasiado difícil o muy costoso de instalar.

Un enlace en malla es una verdadera conexión inalámbrica (punto a multipunto o punto a punto) entre dos unidades Ezmesh. TELETRONICS Ezmesh AP detectará automáticamente nodos vecinos, e interconectara todos los puntos de acceso Ezmesh para formar una amplia cobertura de red inalámbrica. Este aspecto también se lo puede realizar de forma manual.

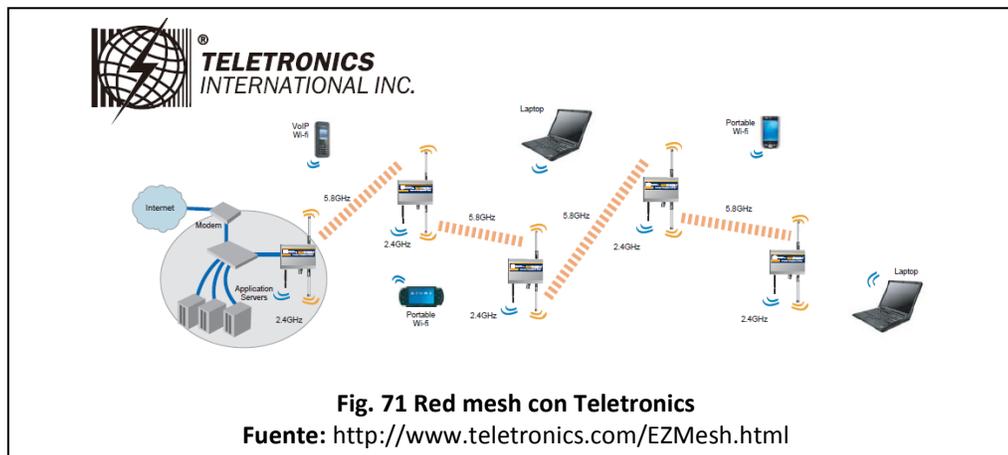
EZMesh capa 2 implementa enrutamiento mallado que proporciona un rendimiento excelente en la red y es totalmente compatible con equipos de red existentes y aplicaciones. Ezmesh puede apoyar aplicaciones de alta y de baja latencia en tiempo real como audio y vídeo.

Trayectoria óptima predecible en tiempo real (POP), el algoritmo de enrutamiento crea un Ezmesh basados en la red en malla WiFi con el más alto rendimiento, fiables, y de auto configuración y descubrimiento de nodos vecinos. Puede volver a establecer una nueva red cuando los obstáculos, los problemas individuales de cada nodo, nodos nuevos, acceso a internet o cualquier otro tipo de eventos ocurren.

Ofrece un alto rendimiento en la red enmallada mediante bloqueo y la no injerencia de diseño para los clientes y el tráfico de red en retroceso. Ezmesh al aire con su multi-radio y varios canales de la arquitectura elimina la interferencia de la señal inalámbrica y problemas de tráfico, conflicto que existe en muchas otras redes mesh.

La interfaz basada en web permite la gestión tanto de usuarios profesionales y no técnicos para manejar fácilmente la administración de la red y tareas de mantenimiento. Permite además a los usuarios monitorear la condición de cada nodo, el flujo de tráfico, y el registro de eventos de las unidades Ezmesh. La función de la topología basada en la Web también permite a los administradores configurar fácilmente, actualizar y supervisar todas las estaciones de la red en malla. SNMP MIB privadas son para usuarios avanzados prefiriendo estar disponible al administrador de la red.

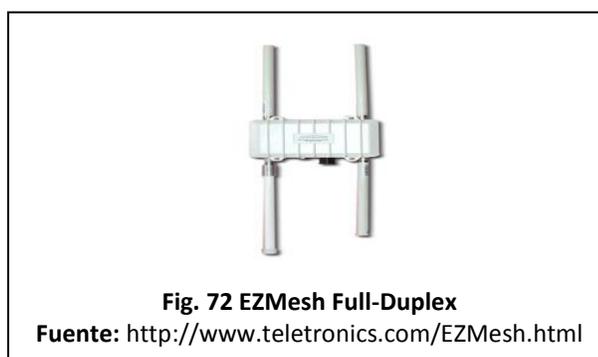
El EZMesh es ideal para soluciones WiFi y ofrece 802.11b/g al ofrecer compatibilidad con el cliente, así como la protección de red en malla con el ID definido por el usuario. El diseño de múltiples rutas de acceso inalámbrico, tanto para el tráfico de usuarios de backhaul y elimina la interferencia de señales adyacentes AP y proporciona cero degradaciones en el rendimiento



Características

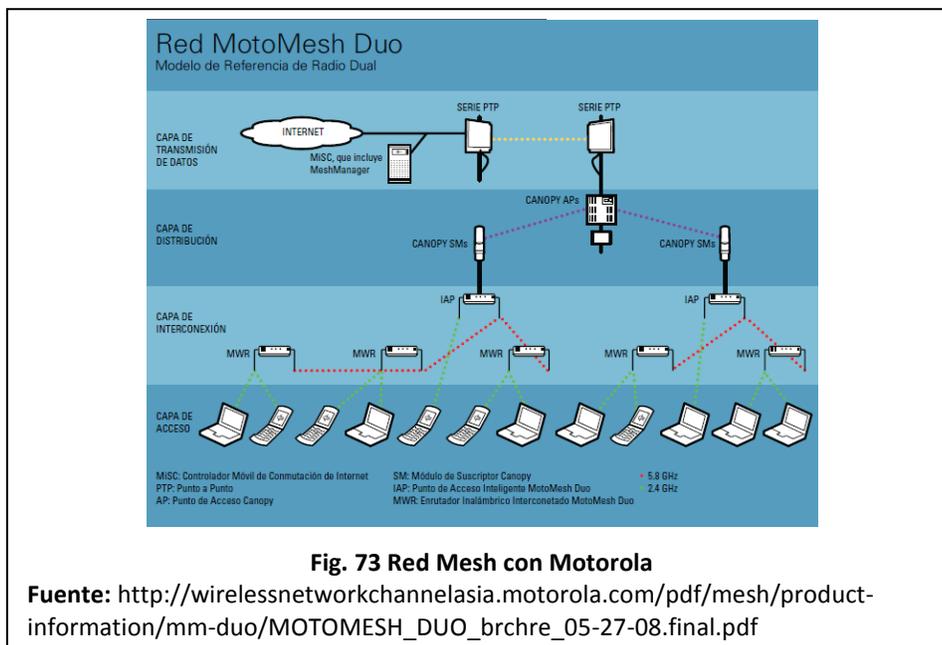
- ❖ Doble Backhaul Radio, Radio Única Acceso clientes AP
- ❖ Backhaul de cifrado: WEP, WPA, WPA2
- ❖ Clientes AP cifrado: WEP, WPA2
- ❖ Plena compatibilidad VPN
- ❖ Listas de direcciones MAC de control de acceso
- ❖ Locales seguros y configuración remota a través de HTTPS
- ❖ Web (HTML) herramienta de gestión basada en navegador es compatible con http y https.
- ❖ Monitoreo de red y clientes y estadística de capturas en la red.
- ❖ 802.11b/g compatibilidad con el cliente
- ❖ Trabaja en la capa 2

El diseño de múltiples rutas inalámbricas tanto para backhaul y el tráfico de usuarios eliminan la interferencia de señales adyacentes AP y proporciona una degradación nula del rendimiento. Totalmente compatible con los servidores de acceso, routers y Gateways transparente a la capa 3 y de protocolos, plenamente compatible con el equipo de red existente.



6.10.1.2 Moto Mesh Dúo

MotoMesh Dúo es una solución poderosa y de última generación para redes mesh de radios duales. Como parte de la cartera de productos de vanguardia MOTOwi4™ de Motorola, ha sido diseñada para brindar a los proveedores de redes de acceso público de alta velocidad la flexibilidad necesaria para cumplir con los objetivos a corto y largo plazo relacionados con el rendimiento, la asequibilidad, la capacidad y el retorno sobre la inversión.



Características:

- ❖ Radios Duales - 2.4 GHz, 802.11 b/g y 5.8 GHz, 802.11a
- ❖ Clasificación ambiental NEMA 4 en una paquete que pesa menos de 2,26 kilos
- ❖ Soporta configuración por vía aérea para la norma de interconexión 802.11s IEEE definitiva
- ❖ Calidad de Servicio (QoS) 802.11e
- ❖ 802.11i (WPA2), Seguridad basada en el Estándar de Encriptación Avanzado (AES)
- ❖ Exclusiva encriptación de punta a punta a través de toda la malla, salto a salto basada en el Estándar de Encriptación Avanzado para todos los paquetes de usuario, gerenciamiento y enrutamiento
- ❖ Canopy® Connect – Soporte para Alimentación sobre la Ethernet para la banda ancha de Canopy



Motorola Canopy MotoMesh Duo 2.4/5.8 Dual Radio AC HD25024 HK1716A

Incluye

- 2.4/5.8 GHz IAP (R2.0 AC hardware w/R2.0 firmware)
- 12ft. power cable w/flying leads
- 1ft. Ethernet RJ45 cable
- 2.4 GHz Antena Omni 8dBi
- Soporte Antena
- Adaptador de antena de ángulo recto
- Antena Omnidireccional 10dBi

6.10.1.3 MIKROTIK 433 AH

La empresa Mikrotik es un fabricante de routers que manejan su kernel bajo Linux lo cual permite que su sistema operativo (winbox) sea de fácil acceso ya que es gratuito, puede trabajar bajo una red Ethernet o Wireless, además permite personalizar los equipos de acuerdo a los requerimientos de la red a implementar **Anexo F**.

Una de las características principales de este equipo es que permite el control de ancho de banda mediante queues (coletas).

Los modos que permiten trabajar tanto como estaciones o Access point.



Fig. 74 Mikrotik 433 AH

Características:

CPU	Procesador de Red Atheros AR7161 680MHz
Memoria	128MB DDR SDRAM
Arranque Sistema	RouterBOOT
Almacenamiento de Datos	64MB onboard NAND memory chip and microSD
Ethernet	3 Puertos 10/100 Mbit/s con Auto-MDI/X
miniPCI	3 Slots MiniPCI Type IIIA/IIIB
Extras	Reset, Beeper
Puerto Serial	1 DB9 RS232C asíncrono
LEDs	Power, NAND, 5 user LEDs
Power	Power over Ethernet: 10.28V DC (except power over datalines). Power jack: 10. 28V DC. Voltage monitor.
Dimensiones	10.5 cm x 15 cm, 137 grams.
Potencia	~3W without extension cards, maximum – 25 W, 16W output to cards
Sistema Operativo	Mikrotik RouterOS v3, Level5 license

Tabla 10 Características Mikrotik

Fuente: www.mikrotik.com

Servicios:

Entre los principales servicios que nos brindan estos equipos listamos los siguientes:

- Wireless
- CLIENT
- FIREWALL
- PACKING
- Mesh
- RELAY
- HOT SPOT
- POOL
- PPP
- SERVER
- IP SEC
- DHCP
- DNS
- NEIGHBORS

6.10.2 Equipos específicos para la red WMNs en las parroquias rurales del cantón Pimampiro.

6.10.2.1 Estación cliente

6.10.2.1.1 Enrutador inalámbrico

Uno de los principales elementos en la estación cliente es el enrutador inalámbrico, el que es encargado de asociarse a la red mesh, también permite mediante su interface LAN conectar a un switch y este a su vez a varias estaciones de trabajo ya sean fijas o móviles para nuestro caso de estudio se ha seleccionado el uso de un enrutador llamado Nanostation 2.4 GHz el que estará ubicado en las estaciones finales de los clientes como se indica en la figura 74.



Fig. 75 Nanostation 2.4

Las Nanostation son equipos que se encuentran disponibles en el mercado a un costo accesible, está fabricado para enlaces cortos y posee una potencia de transmisión de 17dBi, adicionalmente podríamos agregar una antena externa con lo que permitiría tener mayor cobertura.

Especificaciones Técnicas:

Procesador	Atheros AR2315 SOC, MIPS 4KC, 180Mhz
Memoria	16MB SDRAM, 4MB Flash
Interfaz de Red	1x 10/100 BASE-TX(Cat 5, RJ-45) Interfaz Ethernet
Approvals	FCC Part 15.247, IC RS210
RoHS Compliance	Si
Antena	Antena Integrada + Externa RP-SMA
Fuente de Alimentación	12V, 1 A (12 Watts).
Método de Alimentación	Potencia Pasiva a través de Ethernet(4,5+;7,8)
Temperatura de Operación	-20C a 70C (Sistema PCB optimizado para temperatura alta)
Peso	0,4 Kg

Tabla 11Especificaciones Técnicas Nanostation

Fuente: <http://www.ubnt.com/nanostation>

6.10.2.1.2 Antenas

La radio Nanostation es un equipo outdoor que viene incorporado una antena de menor potencia, se puede adaptar a este enrutador una antena externa de mayor ganancia para nuestro estudio se eligió el modelo de antenas HG2415U-PRO es una antena omnidireccional, este equipo opera en la frecuencia de 2.4GHz, esta antena es ubicada en el exterior de la radio a través de un cable coaxial y un pigtail como muestra en la figura.



Fig. 76 Antena HG2415U-PRO

Especificaciones Técnicas:

Características:

- Frecuencia de 2,4 GHz 15 dBi Antena Omnidireccional
- Centro alimentados matriz colineales
- Alta resistencia de acero soportes de montaje
- Elementos de latón macizo
- Conector Integral N-Hembra

Especificaciones eléctricas	
Frecuencia	2400-2500 MHz
Ganancia	15 dBi
Polarización	Vertical
Ancho de haz vertical de	8 °
Ancho de haz horizontal de	360 °
Impedancia de	50 ohmios
Max. Entrada de energía	100 vatios
VSWR	<1.5:1 avg.
Rayo DC	Protección de corto Escuchar

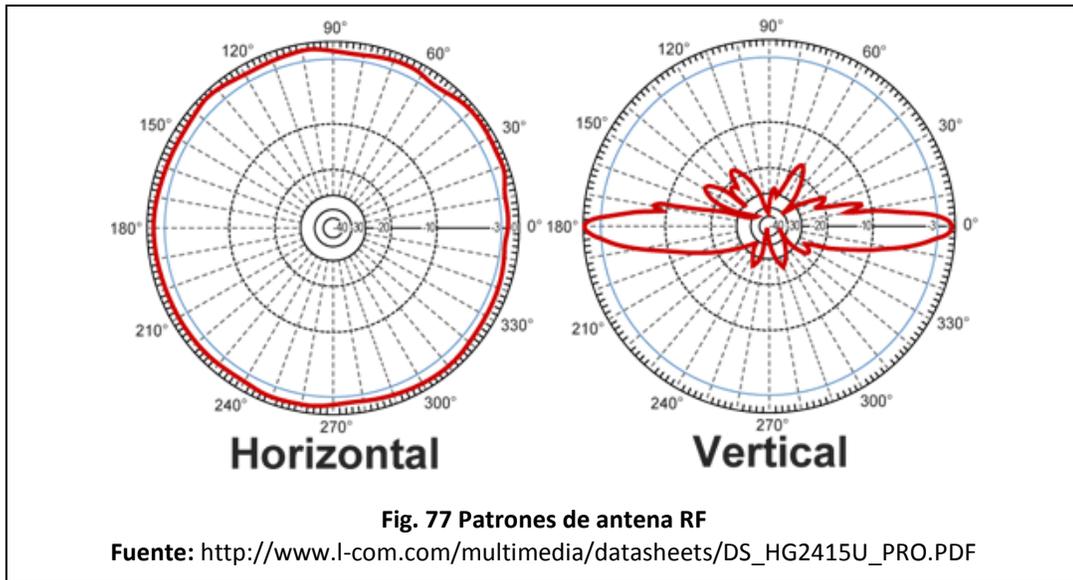
Tabla 12 Especificaciones Técnicas HG2415U_PRO

Fuente: http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG2415U_PRO.PDF

Especificaciones mecánicas	
Conector	integral N-Hembra
Peso	3.3 libras (1,5 kg)
Longitud	40.5 pulgadas (1.03m)
Base	Diámetro 1.69 pulgadas (42.9mm)
Radomo	Diámetro 1.52 pulgadas (38.6mm)
Radomo de fibra de vidrio	Material Gris
De montaje	de 2,0 "de diámetro máximo del mástil
Resistencia al viento de hasta	150 MPH
Temperatura de funcionamiento	-40 ° C a 85 ° C (-40 ° F a 185 ° F)
Conforme a RoHS	Si

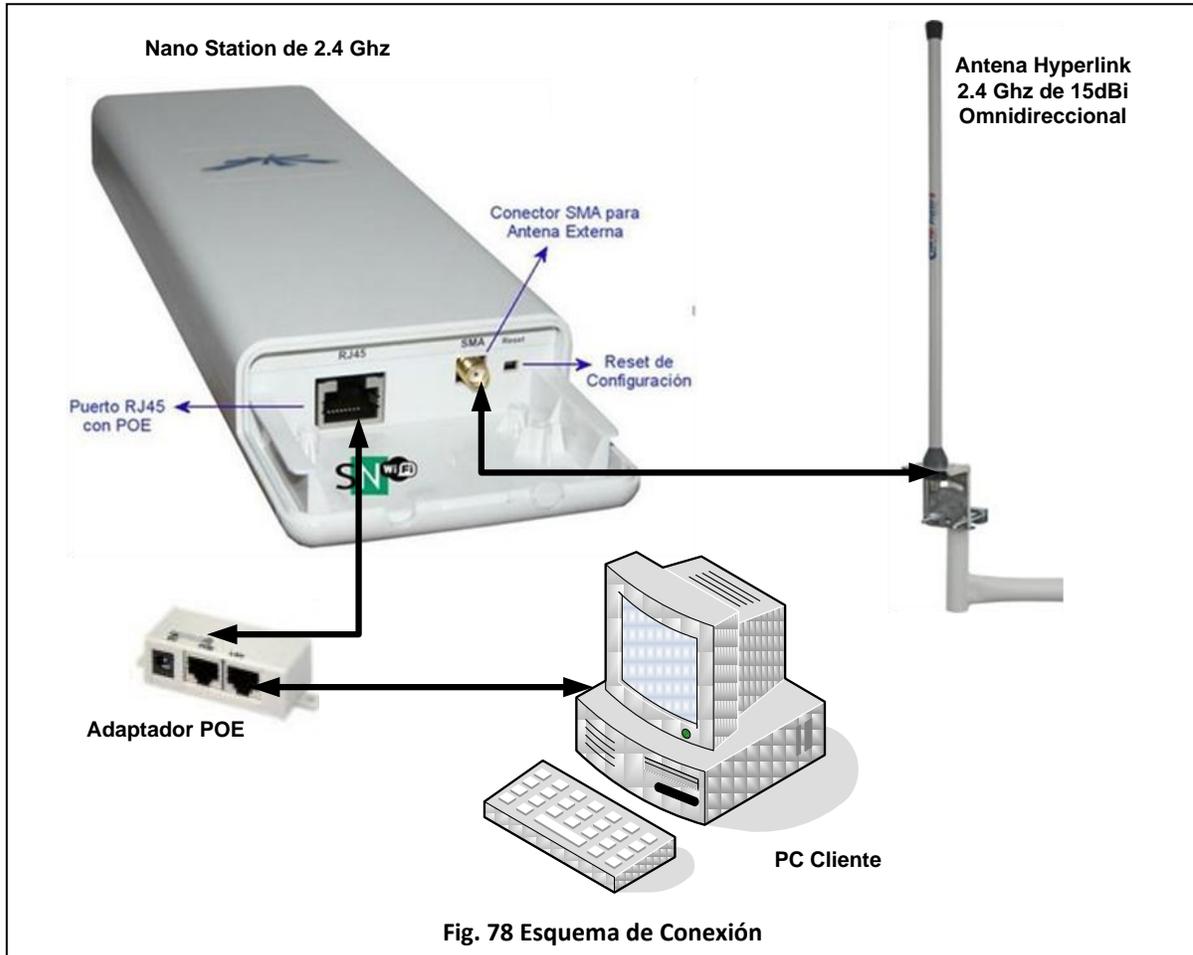
Tabla 13 Especificaciones Mecánicas HG2415U

Fuente: http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG2415U_PRO.PDF



Una de las características fundamentales de una antena es la capacidad de radiar en una dirección del espacio, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio. Antes de definir este parámetro, es conveniente definir un plano de referencia donde está situada la antena y el perímetro que se quiere cubrir.

En la siguiente figura se muestra el esquema de conexión entre el router y la antena exterior, dicha conexión sería implementada en cada uno de los usuarios para los cuales la cobertura que ofrece la antena integrada al router no es suficiente, es decir tenga mayor alcance.



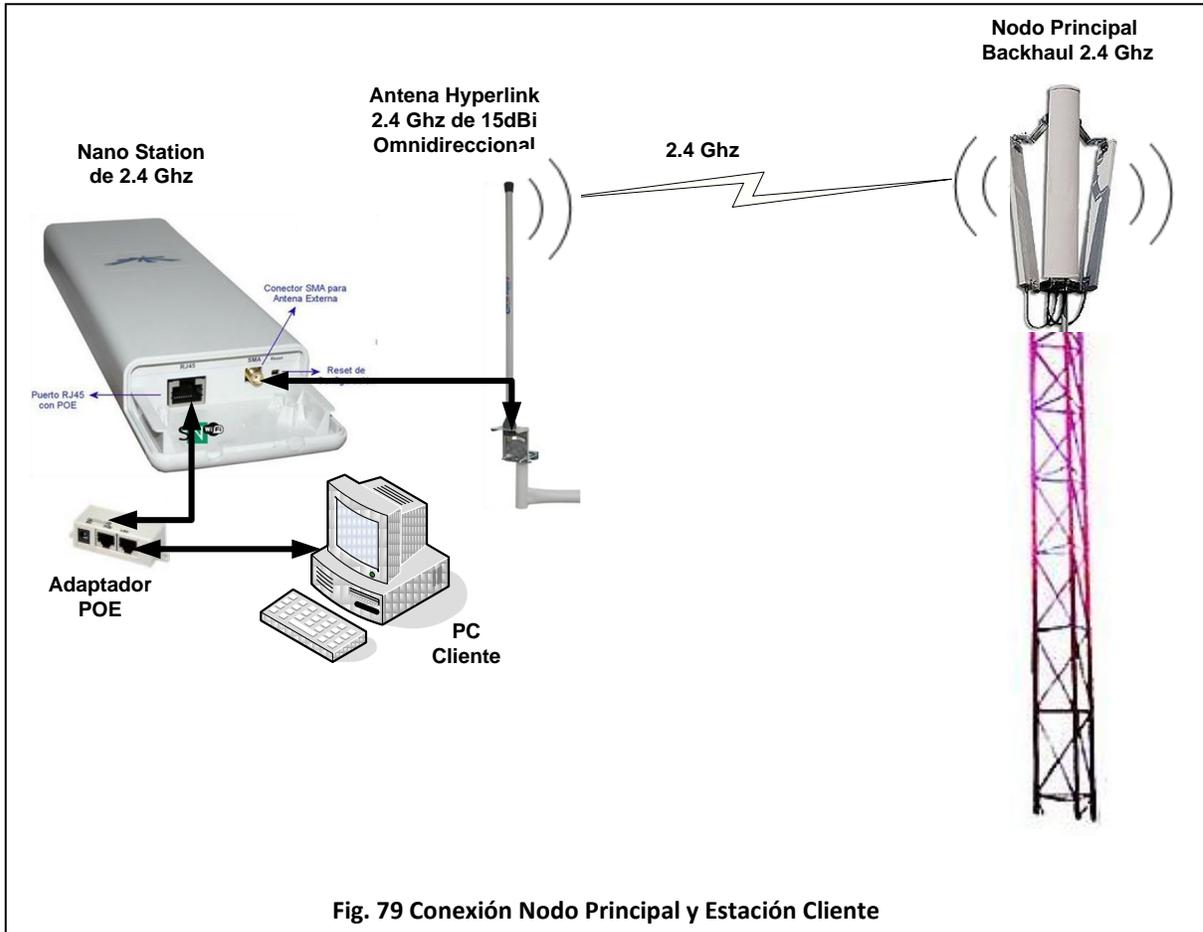
Nodos Principales

Son aquellos equipos que nos permiten realizar la interconexión entre el nodo principal y la estación cliente, estos equipos se encuentran ubicados en los cerros a través de una torre en las posiciones más elevadas, para con ello poder emitir la señal con mayor cobertura teniendo una mejor línea de vista a su alrededor.

Estos enlaces pueden llegar a cubrir hasta unos 27 Km de distancia en línea recta.

Con el fin de tener una buena cobertura para la implementación de la red mesh se debe realizar una cuidadosa elección de equipos así como un adecuado estudio que nos permita cumplir con nuestros requerimientos.

En la siguiente figura se representará un ejemplo entre el nodo principal y las estaciones cliente.



6.10.2.1.3 Antenas

El enrutador inalámbrico mikrotik que usaremos para nuestro estudio requiere de antenas externas, para nuestro caso hemos elegido antenas hyperlink ya que es una marca ampliamente disponible y en la relación de calidad y precio es una de la mejores en el mercado.

En nuestro estudio se ha considerado realizar un arreglo de antenas utilizando antenas sectoriales de 90° que operan en una frecuencia de 2.4GHz puesto que con ello se cubriría los 360° de radiación lo que haría ideal nuestro diseño.



Antena Sectorial Panel 2.4 GHz de 14 dBi 90 grados Horizontalmente Polarizado Wireless LAN Modelo: HG2414HSP-090

Aplicaciones

- Retransmite internet sin línea telefónica (opera en todo tipo de clima).
- Comparte la señal de internet, para reducir costos (empresas, cabinas, oficinas).
- Interconecta sucursales y oficinas de empresas públicas y privadas (Wireless LAN).
- Hotspot públicos inalámbricos
- Vigilancia y monitoreo (Wireless Video Systems).
- Proveer servicios de internet inalámbrico (varios usuarios con una sola antena multipunto).
- Sistemas WiFi.
- Bluetooth

Performance Superior

La antena sectorial de panel HyperGain HG2414HSP-090 WiFi horizontalmente polarizado combina una alta ganancia con una onda de 90°. Su calidad profesional "cell site" está diseñada principalmente para proveedores de servicio en la banda ISM de 2.4 GHz. También se incluyen las aplicaciones para redes inalámbricas IEEE 802.11b y 802.11g, compatible con todas las marcas de Access Point (AP).

Debido a que esta antena está horizontalmente polarizada, es ideal para uso en áreas susceptibles a interferencia donde operan equipos inalámbricos verticalmente polarizados. Con la reducción de esta interferencia se puede lograr una mejor recepción de la señal inalámbrica.

Durable a Prueba de Mal Tiempo

Esta antena WiFi ofrece una cobertura de plástico durable y fuerte para operar en todo tipo de clima.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

El sistema de montaje permite instalaciones ajustables de 0 a 20 grados de inclinación.
Ideal para proveedores de servicio inalámbrico.

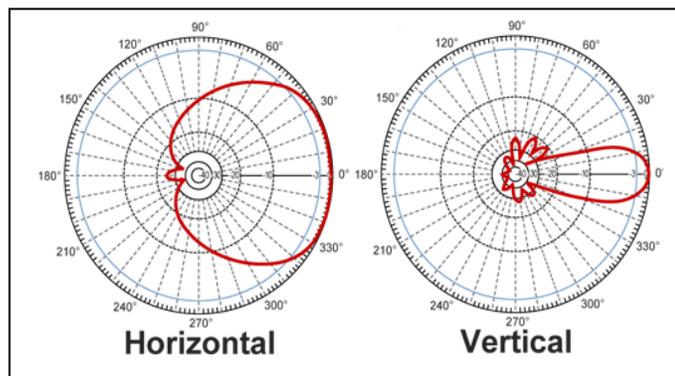
La cobertura Horizontal es total a 90 grados.



Frecuencia	2400-2500 MHz
Ganancia	14 dBi
Ancho de onda Horizontal	90°
Ancho de onda Vertical	20°
Impedancia	50 Ohm
Polarización	Horizontal
Max. ingreso de energía	300 Watts
Peso	2.0 Kg
Dimensiones	500 x 180 x 90 mm

Tabla 14 Especificaciones Técnicas

Fuente: <http://www.diazcomunicaciones.com/tienda/antena-Sectorial-14dbi-24ghz-hyperlink-hg2414hsp090-p-193.html>



Backbone Principal

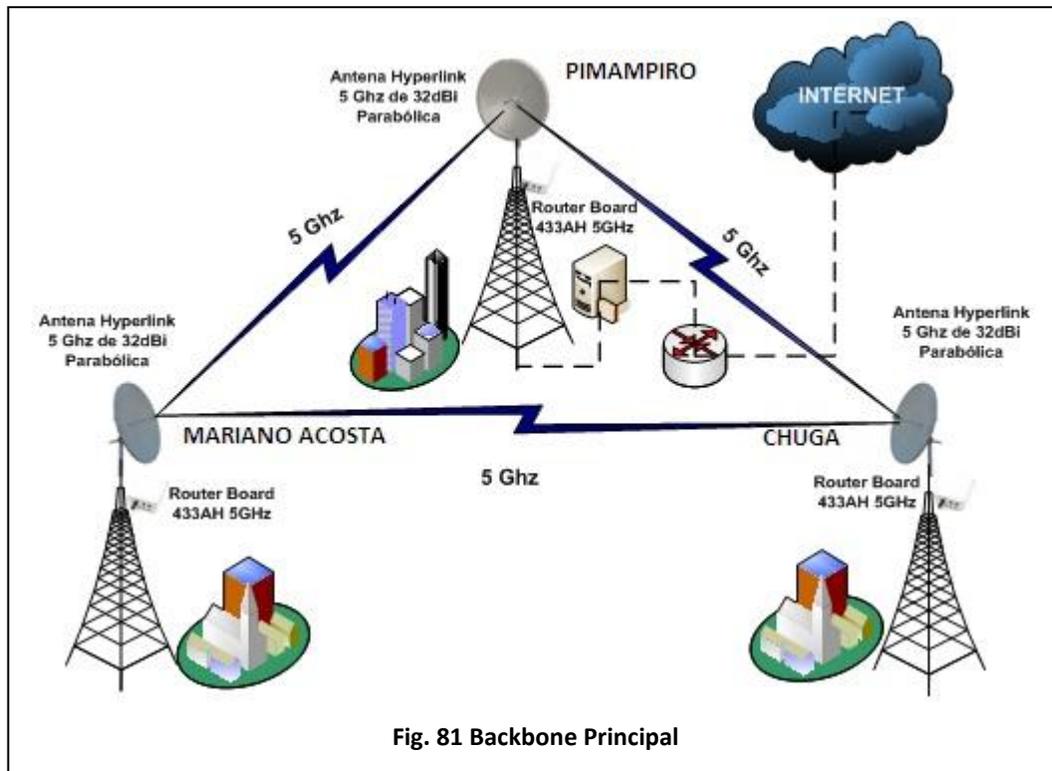
Se refiere a las principales conexiones troncales de Internet. Está compuesta de un gran número de routers comerciales, gubernamentales, universitarios y otros de gran capacidad interconectados que llevan los datos a través de países, continentes y océanos del mundo mediante un medio de comunicación ya sea este alámbrico e inalámbrico.

ENRUTADOR INALAMBRICO

Para el estudio de nuestra red mesh y la creación del backbone principal se ha decidido crear un dual band mesh utilizando equipos que usen el espectro de frecuencia de 5GHz. El conjunto de enrutadores inalámbricos en 5 GHz son los que formaran nuestra red troncal o también conocida como red de transporte, estos enlaces pueden cubrir varios kilómetros y se ha establecido un promedio de cobertura de 27 Km.

En la selección de equipos se ha decidido el uso de Router Boards Mikrotik de Modelo 433AH el cual trabaja en forma dual es decir tiene tarjetas de radiofrecuencia de 2.4 y 5 GHz. lo que nos permite manejar tanto el backbone como el backhaul de acceso.

En la figura se muestra como representaríamos el backbone principal de nuestra red mesh estudiado.



ANTENA

El enrutador inalámbrico Mikrotik Router Board 433AH requiere de antenas externas tanto para el backbone como el backhaul, en la Tarjeta de radiofrecuencia de 2.4 se utilizaran antenas sectoriales y para el backbone se utilizaran antenas parabólicas hyperlink de 32 dBi, estas antenas serán ubicadas en la parte superior de la torre con el fin de enlazarse de manera directa con el otro nodo.

En la presente figura se muestra la antena.



Fig. 82 Antena Hypelink

El modelo de HG5158DP-32D Hyperlink es una antena parabólica de Polarización Dual, diseñada para funcionar de 5,1 GHz a 5,8 GHz (5150 hasta 5850 MHz). El diseño de esta antena elimina la necesidad de comprar antenas diferentes para cada frecuencia. Esto simplifica la instalación desde la misma antena se puede utilizar para una amplia gama de aplicaciones inalámbricas. Esta antena dispone de 32 dBi de ganancia con un haz de 3,5 ° de apertura.

Polarización dual

Estas antenas cuentan con un sistema de doble polaridad. La antena se alimenta a través de dos puertos N-Macho, una de polarización vertical y uno de polarización horizontal. Esta característica hace que sea ideal para sistemas con diversidad de polarización. Dado que estas antenas pueden transmitir y recibir en ambas polaridades vertical y horizontal, se puede utilizar con sistemas de mayor ancho de banda.

Robusta y resistente a la intemperie

El plato reflector de estas antenas se construye a partir de aluminio de alta calidad que les da una mayor resistencia. El plato está cubierta de un color gris claro de polímeros para la durabilidad y estética. El pequeño diámetro de la antena ayuda a minimizar la carga de viento.

Estas antenas se suministran con los herrajes. Esto permite la instalación en varios grados de inclinación para un fácil alineamiento. Se puede ajustar hacia arriba o abajo de 0 ° a 30 °

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS	
Frecuencia	5150-5850 MHz
Ancho de Frecuencia	700 MHz
Ganancia	32 dBi
Polarización	Horizontal y Vertical
Apertura Horizontal	3.5 °
Apertura Vertical	3.5 °
Ratio de frente hacia atrás	≥ 40 Db
Aislamiento	≥ 28 Db
Impedancia	50 Ohm
Potencia máxima de entrada	100w
VSWR	< 1.5:1 avg.

Tabla 15 Especificaciones Eléctricas

Fuente: <http://www.l-com.com/item.aspx?id=22100>

ESPECIFICACIONES MECANICAS	
Peso	10.5 Kg
Diámetro	900m
Herraje	38mm- 76mm diámetro máximo del mástil
Temperatura de Funcionamiento	-40° C hasta 85° C
Conectores	2 N-Hembra
Certificado RoHS	Si
Ref. del Radomo	HGR-09

Tabla 16 Especificaciones Mecánicas

Fuente: <http://www.l-com.com/item.aspx?id=22100>

Datos de Carga del viento

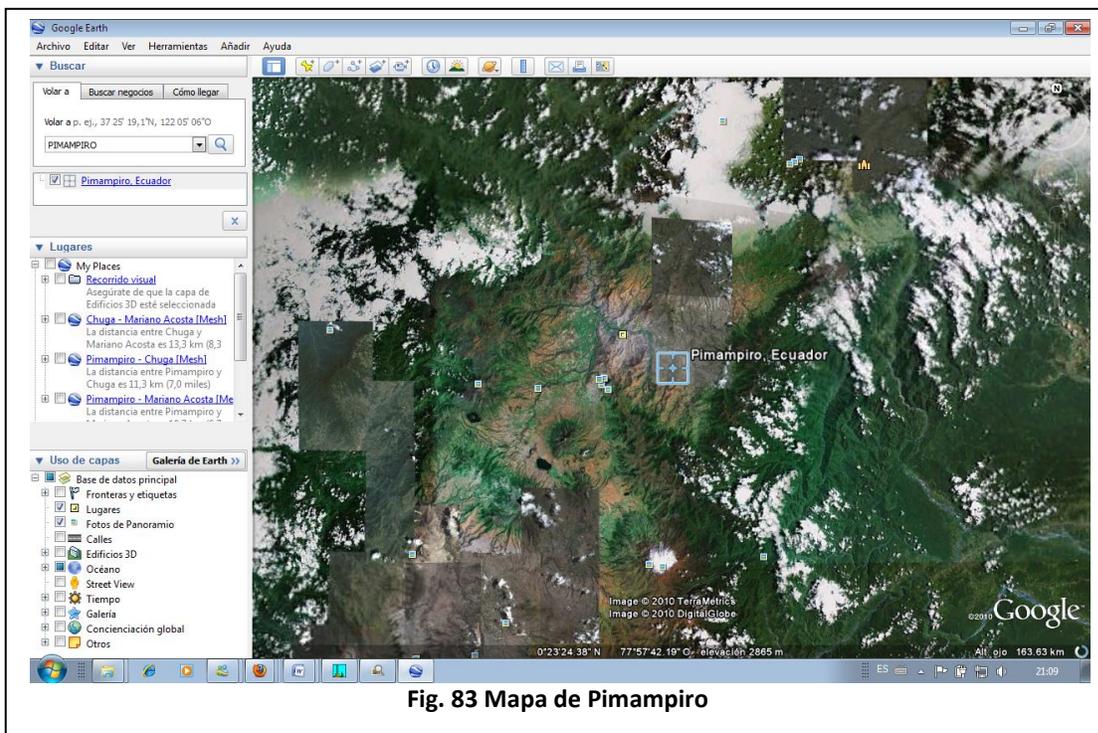
Velocidad del Viento 100 mph 266 lb.

Velocidad del Viento 125 mph 400 lb.

6.11 Diseño de la red WMNs con Radio Mobile

6.11.1 Descarga del Mapa

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 utilizaremos Google Earth, que permite la ubicación de cualquier lugar de la Tierra mediante imágenes de satélite, mapas, relieve y edificios 3D. En dicho programa se puede explorar un amplio contenido geográfico. Ingresamos el lugar y enviamos a buscar, nos indicará en el mapa el lugar buscado.



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 anterior, y luego hacemos clic en el botón extraer e inmediatamente el mapa se empieza a descargar desde Internet.

Para que lo que bajamos se vea en la pantalla del Radio Mobile, vamos a Menú > File > Map Properties.

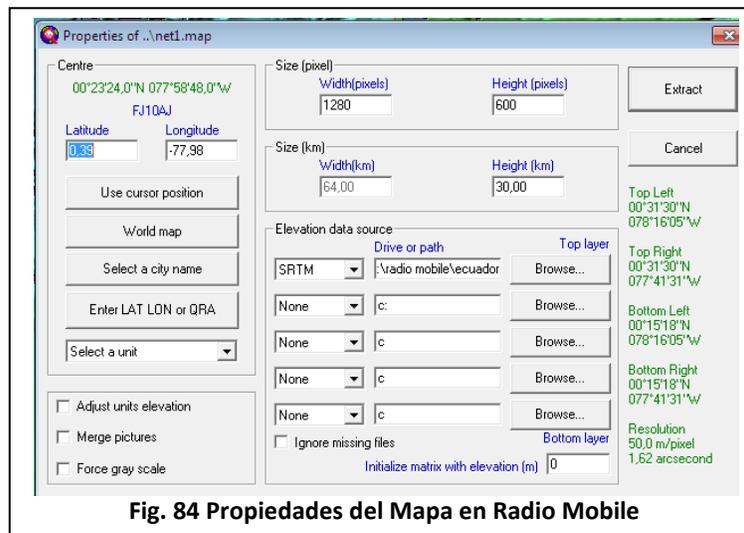


Fig. 84 Propiedades del Mapa en Radio Mobile

1. En Size(pixel) colocamos la resolución del mapa en nuestro caso Width:1280 Heigth:600
2. En "Size (km)" dejamos el valor por defecto (30) en "Height (km)". Este valor representa el tamaño del mapa dentro de la pantalla. A mayor kilometraje, más detalle de cobertura.
3. En el cuadro "Centre", clic el botón "Enter LAT LONG or QRA"; ingresamos los datos de latitud y longitud que usamos para bajar el mapa. Para cambiar de N a S o de W a E, damos clic en el botón correspondiente a la derecha del campo de ingreso.

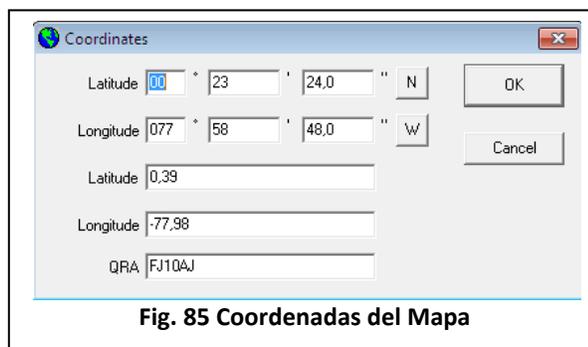


Fig. 85 Coordenadas del Mapa

4. En "Elevation data source", seleccionar "SRTM" y verificar la ubicación del mapa si no está la correcta en Browse ubicamos ese Path.
5. Clic en extract y se visualizara el mapa en la pantalla. El mapa es en colores y en la esquina superior izquierda, se pueden ver las referencias a las alturas sobre el nivel del mar.

6.11.2 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, son los lugares donde se va ubicar un punto de acceso, una estación cliente, una radio base etc.

Para definir las unidades de nuestra red mesh primero necesitamos los datos obtenidos mediante el Google Earth que se indican en la siguiente tabla.

Parroquia	Latitud	Longitud
Pimampiro	00° 23' 56,10'' N	77° 59' 20.26'' O
Chugá	00° 22' 01,87'' N	77° 53' 32.48'' O
Mariano Acosta	00° 18' 09,62'' N	77° 59' 36.75'' O

Tabla 17 Ubicación de las unidades

Pasos para ingresar las unidades:

Existen dos formas para el ingreso de unidades una de forma manual es decir ingresar la ubicación (coordenadas) exacta de cada unidad y la otra es casi de forma automática, para lo cual:

1. Posicione el cursor en el emplazamiento de la unidad.

- Si desea buscar el punto de mayor elevación de una zona, seleccione dicha zona con el botón izquierdo del ratón y presione clic sobre el icono de la barra de herramientas  Find peak elevation o seleccione View > Find peak elevation.

- Si desea buscar el punto de menor elevación, seleccione View > Find lowest elevation o .

Puede utilizar la cuadrícula de elevaciones (grid elevation) para seleccionar un punto más o menos elevado en el entorno próximo de la posición del cursor.

Nota importante: si observa que la cuadrícula Elevation grid no muestra datos de elevaciones en sus casillas, está utilizando una imagen que no está contenida en el mapa de elevaciones abierto. Abra el mapa de elevaciones adecuado o extráigalo de nuevo.

2. Una vez posicionado el cursor, abra File > Unit properties o clic en el Icono , nombre la unidad que va a emplazar y seleccione Place unit at cursor position. El programa obtendrá la altitud de la matriz de elevaciones aunque también puede introducir el valor manualmente.

Puede elegir el icono y estilo de la etiqueta para representar la unidad en el mapa. La opción Enabled determina si la unidad está activa y visible.

Para nuestro caso de estudio la información de cada punto se lo va a ingresar manualmente.

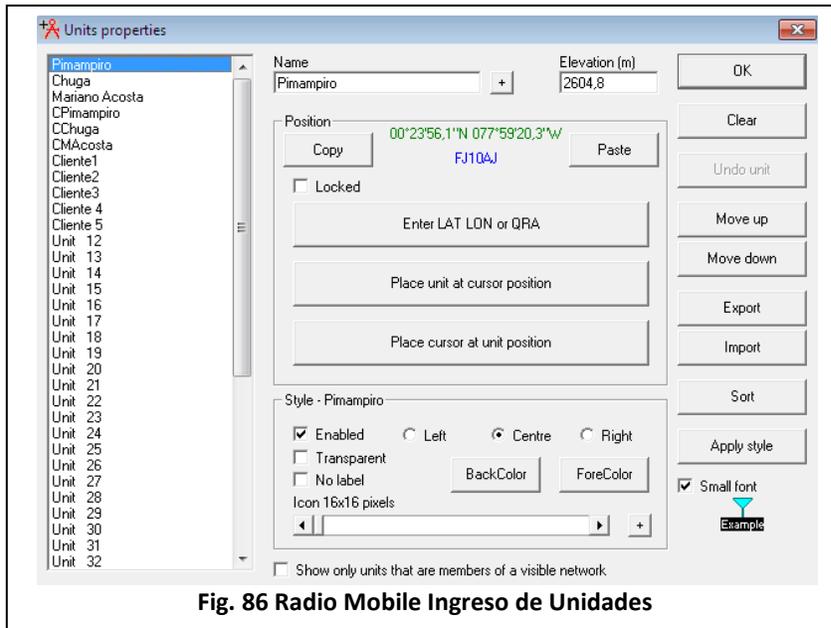


Fig. 86 Radio Mobile Ingreso de Unidades

Colocamos el nombre de nuestra unidad y damos clic en



para ingresar las coordenadas.

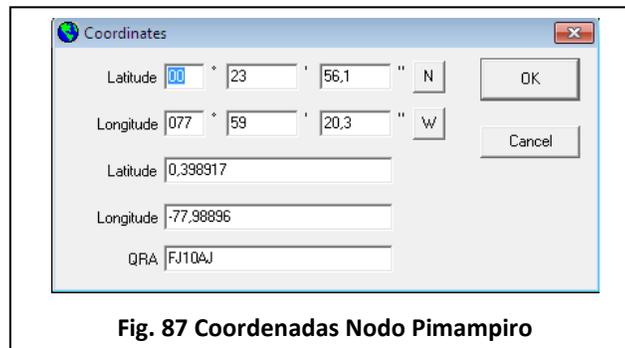


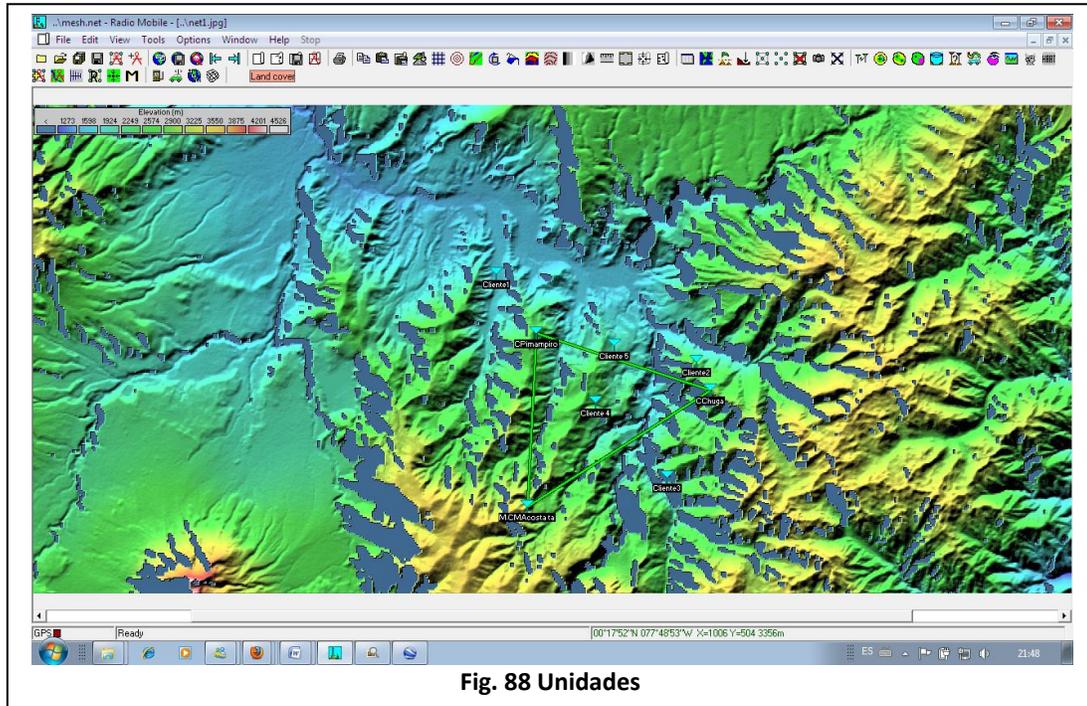
Fig. 87 Coordenadas Nodo Pimampiro

Cuando ya ingresemos las coordenadas de la Unidad nos calcula automáticamente la Elevación en la ventana anterior.

De la misma manera que colocamos la primera unidad se deberán colocar las demás unidades.

Se deben cargar, por lo menos, dos estaciones por cada red, si las unidades tiene exactamente las mismas coordenadas, estas se sobrepondrán en el mapa.

Cuando hayamos terminado de ingresar todas las unidades la información se visualizará en el siguiente mapa:



6.11.3 Creación de sistemas

El programa puede almacenar hasta 25 especificaciones de sistemas asociados a un archivo Networks (*.net). Estas configuraciones o systems se almacenan en el archivo radiosys.dat que incluye dos sistemas predefinidos denominados UHF y VHF.

Para nuestro estudio vamos a utilizar dos sistemas:

- ✓ Sistema Backbone.- Para nuestra columna vertebral de nuestra red mesh la cual trabajará en una frecuencia de 5 GHZ.
- ✓ Sistema Backhaul.- Para nuestro enlace de acceso a nuestros clientes el cual está en la frecuencia de 2.4 GHZ.

Para el ingreso de los sistemas es importante contar con la información técnica tanto del equipo como de la antena, mediante esta información se definen ciertos parámetros en los diferentes sistemas.

Sistema Backbone - 5 GHz

Datos Antena

Frecuencia	5150-5850 MHz
Ganancia	32 dBi

Polarización	Horizontal y Vertical
Apertura Horizontal	3.5 °
Apertura Vertical	3.5 °
Ratio de frente hacia atrás	≥ 40 dB
Aislamiento	≥ 28 dB
Impedancia	50 Ohm
Potencia máxima de entrada	100w

Tabla 18 Datos Técnicos Antena Hyperlink

Seleccione File > Networks properties > Systems para visualizar la siguiente ventana:

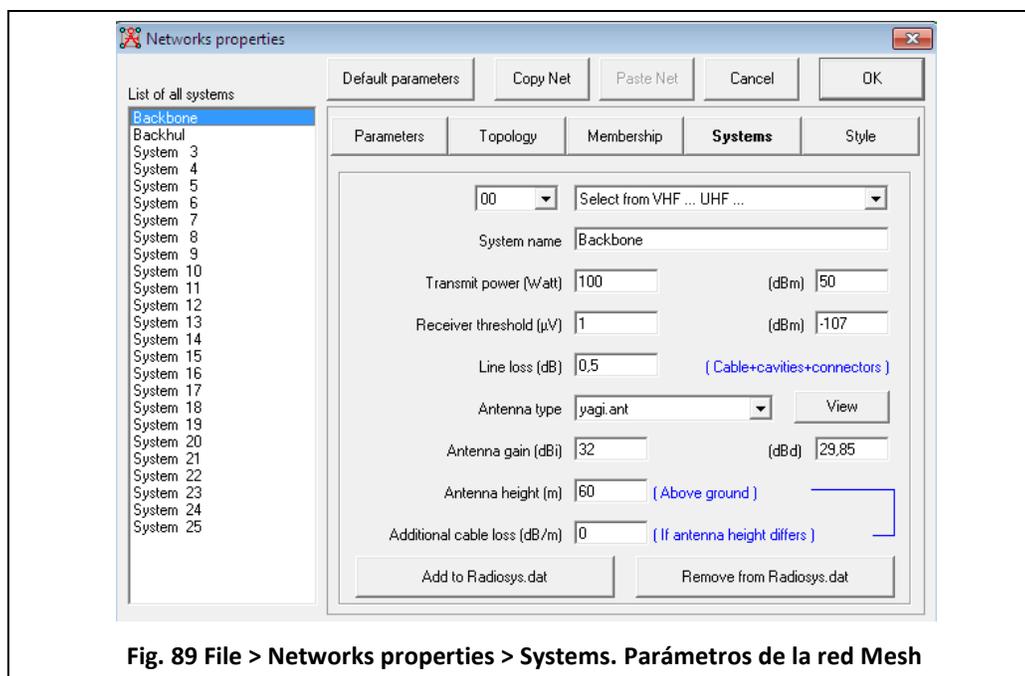


Fig. 89 File > Networks properties > Systems. Parámetros de la red Mesh

A partir de las hojas de especificaciones de los equipos se definen para cada sistema: la potencia de transmisión, umbral de recepción, pérdidas del circuito de la antena, tipo de antena, el cual se indica en la siguiente figura, según su diagrama de radiación y ganancia de antena. Además se especifican la altura de la torre para la ubicación de la antena y las pérdidas del cable.

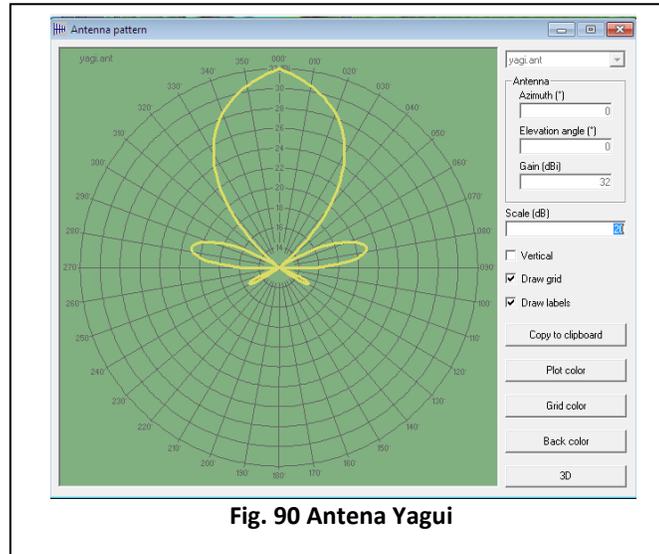


Fig. 90 Antena Yagui

Sistema Backhaul - 2.4

Datos Antena:

Frecuencia	2400-2500 MHz
Ganancia	14 dBi
Ancho de onda Horizontal	90°
Ancho de onda Vertical	20°
Impedancia	50 Ohm
Polarización	Horizontal
Max. ingreso de energía	300 Watts
Peso	2.0 Kg
Dimensiones	500 x 180 x 90 mm

Tabla 19 Datos Antena Hyperlink 2.4 GHz

Las características en cada sistema son diferentes ya que para el backbone se utiliza otro tipo de antena que para el backhaul por lo tanto se especifican en otro sistema, los datos se muestran en la siguiente figura:

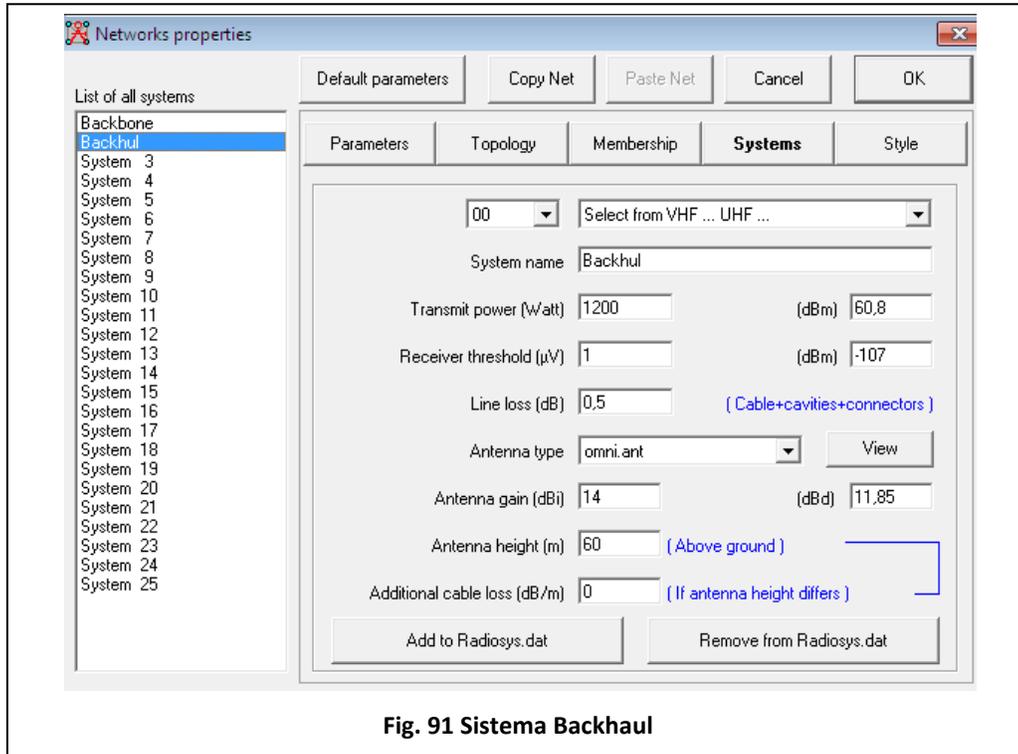


Fig. 91 Sistema Backhaul

Se indica la cobertura con la cual trabajara nuestro backhaul, la cobertura corresponde al arreglo de antenas que utilizaremos.

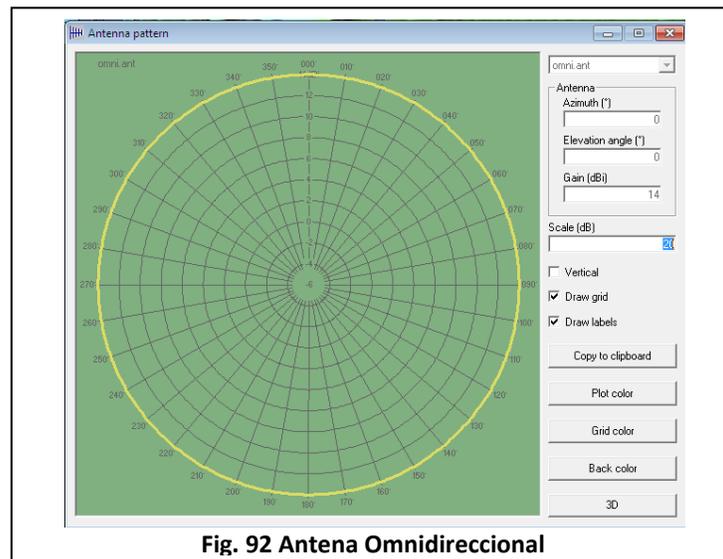


Fig. 92 Antena Omnidireccional

De igual forma que se ingresa los puntos se permite el ingreso de los puntos clientes que formarán parte del enlace.

6.11.4 Análisis de los Enlaces de Radio

Mediante el análisis de Radio que permite la herramienta Radio Mobile se puede establecer la distancia desde un punto a otro, así como también permite visualizar el estado del enlace, es decir podemos visualizar los accidentes geográficos de forma más precisa.

Los valores e interfaces presentadas a continuación son mediante el análisis del Backbone

Para el análisis de los enlaces de radio tomamos dos puntos Pimampiro – Chugá y en el icono 

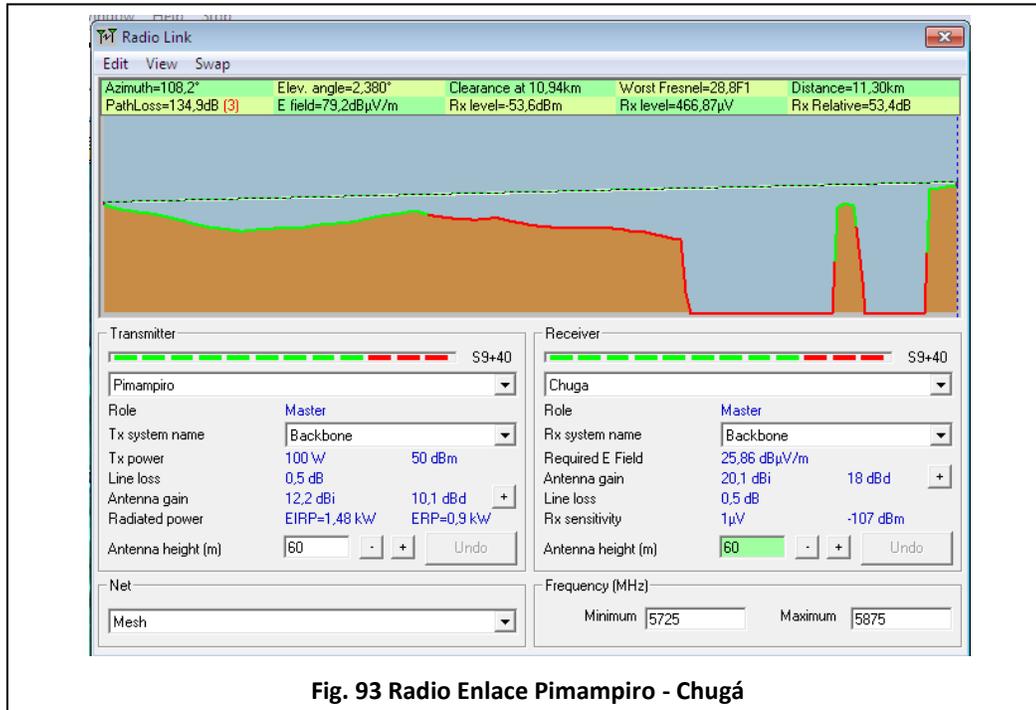


Fig. 93 Radio Enlace Pimampiro - Chugá

Esta ventana muestra los parámetros del enlace entre las dos estaciones seleccionadas. La opción Swap permite visualizar el enlace en el sentido de transmisión inverso. Es posible modificar las alturas de las antenas para investigar su efecto en el radioenlace. Al dar clic con el ratón sobre el perfil aparecerá un cursor azul que permitirá obtener el despejamiento, elevación, nivel de campo, pérdida básica y otros parámetros en ese punto.

Los botones marcados como '+' junto a los valores de ganancia de antena permiten ver el diagrama de radiación de la antena y el ángulo acimutal empleado.

Seleccionando View →Details obtendrá un resumen del balance del enlace y la opción View→Distribution muestra las estadísticas de la señal en el trayecto, las cuales se presentan en la siguiente interfaz.

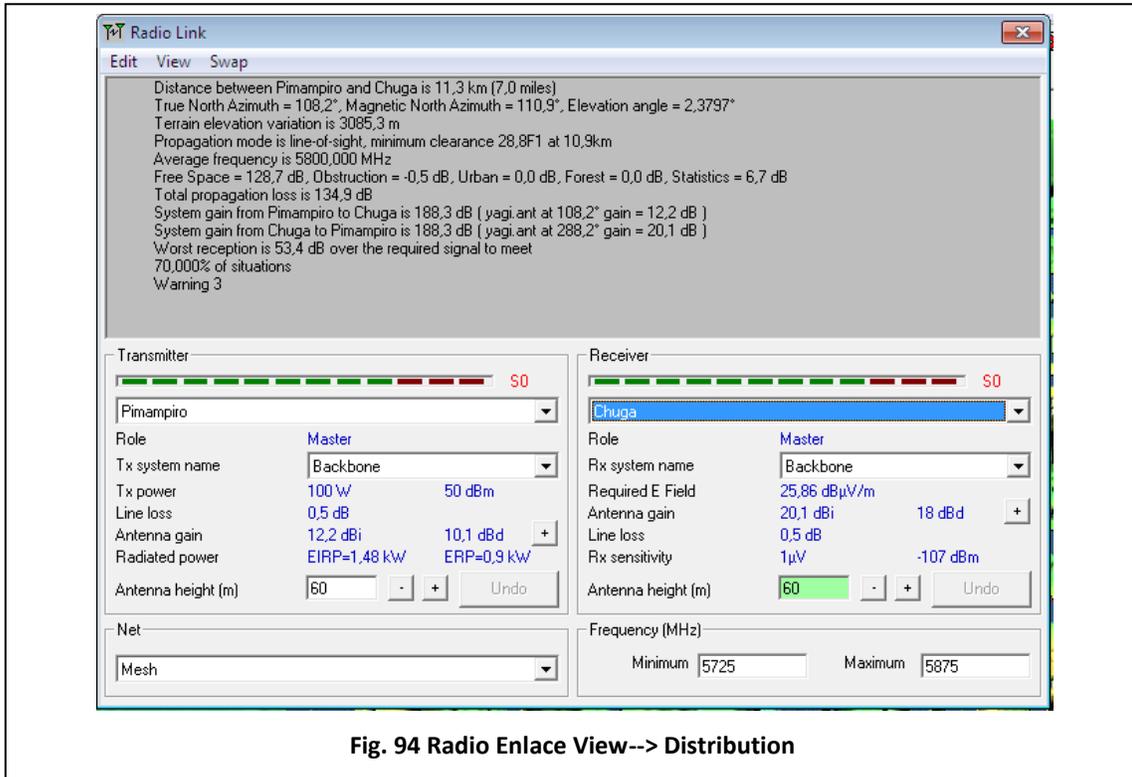


Fig. 94 Radio Enlace View--> Distribution

Para el análisis de los enlaces de radio tomamos dos puntos Pimampiro – Mariano Acosta y en el

icono 

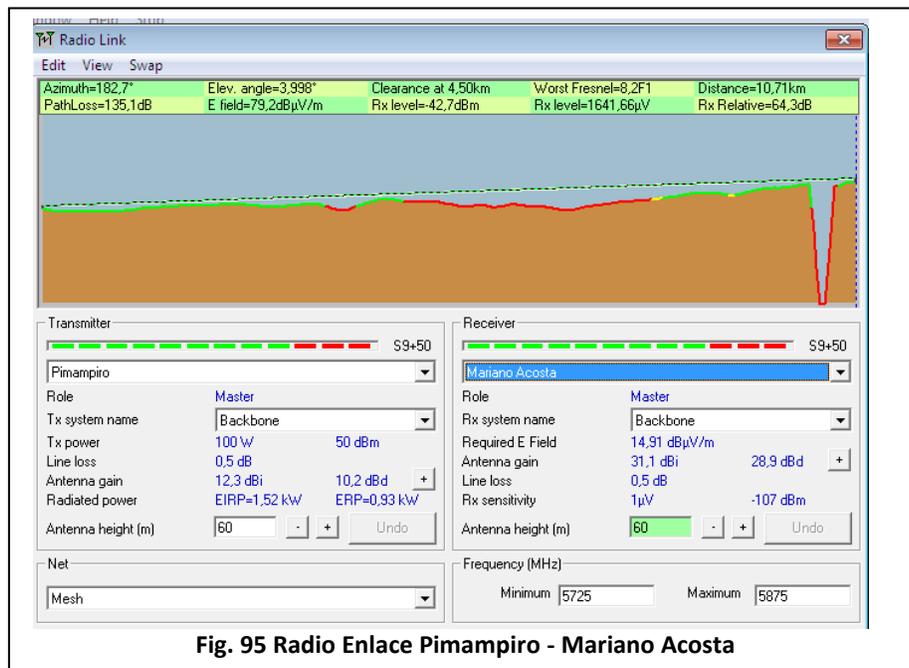
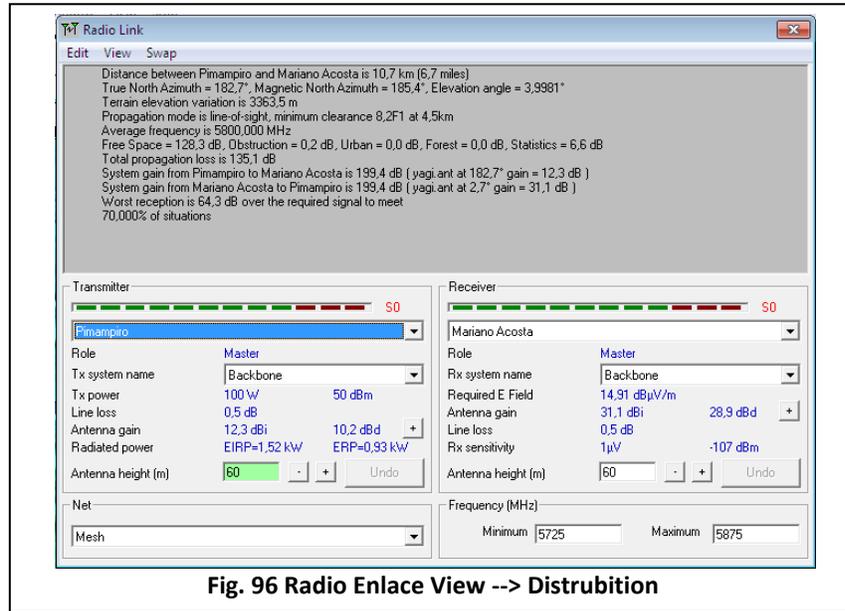
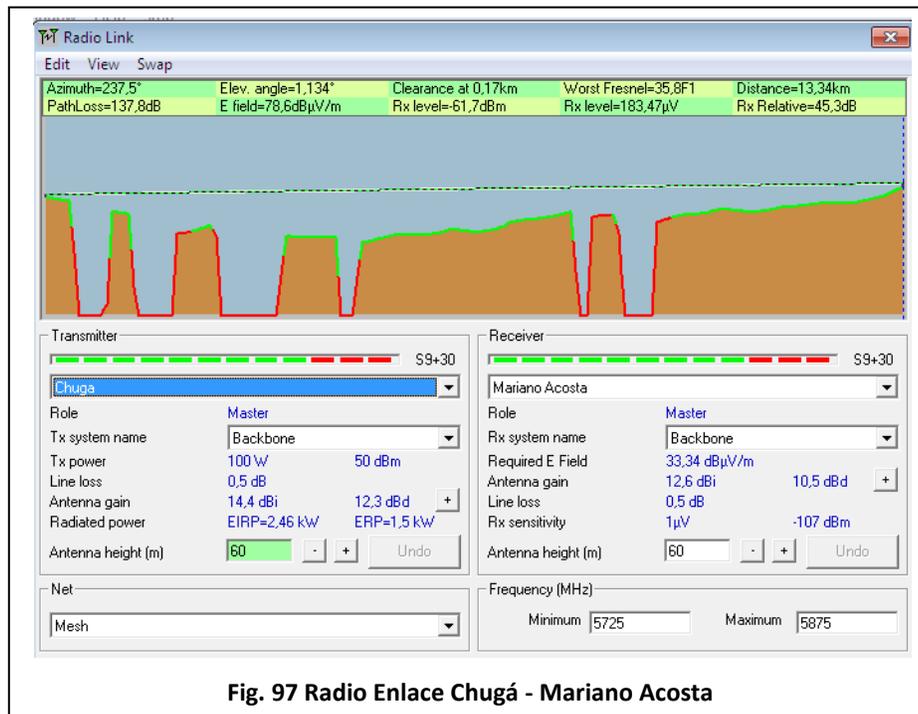


Fig. 95 Radio Enlace Pimampiro - Mariano Acosta



Para el análisis de los enlaces de radio tomamos dos puntos Chugá – Mariano Acosta y en el icono



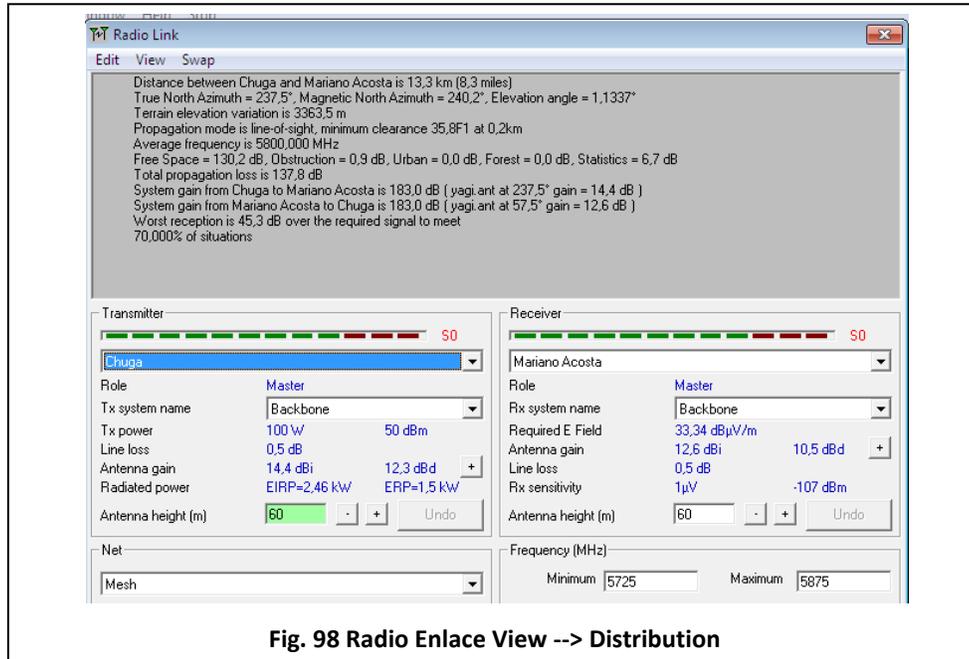


Fig. 98 Radio Enlace View --> Distribution

Para el análisis del Backhaul se presentaran nuevas interfaces ya que pertenecen a un sistema diferente y los parámetros de cada sistema cambian.

Enlace CPimampiro → CChugá

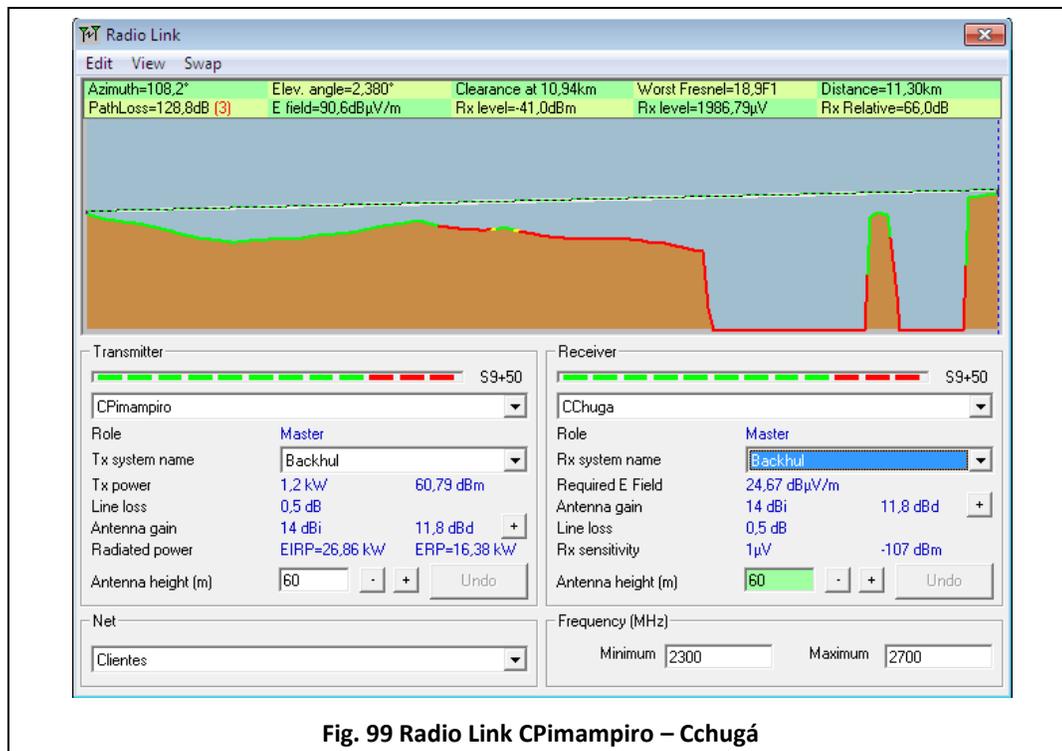


Fig. 99 Radio Link CPimampiro – Cchugá

Enlace CPimampiro → CMariano Acosta

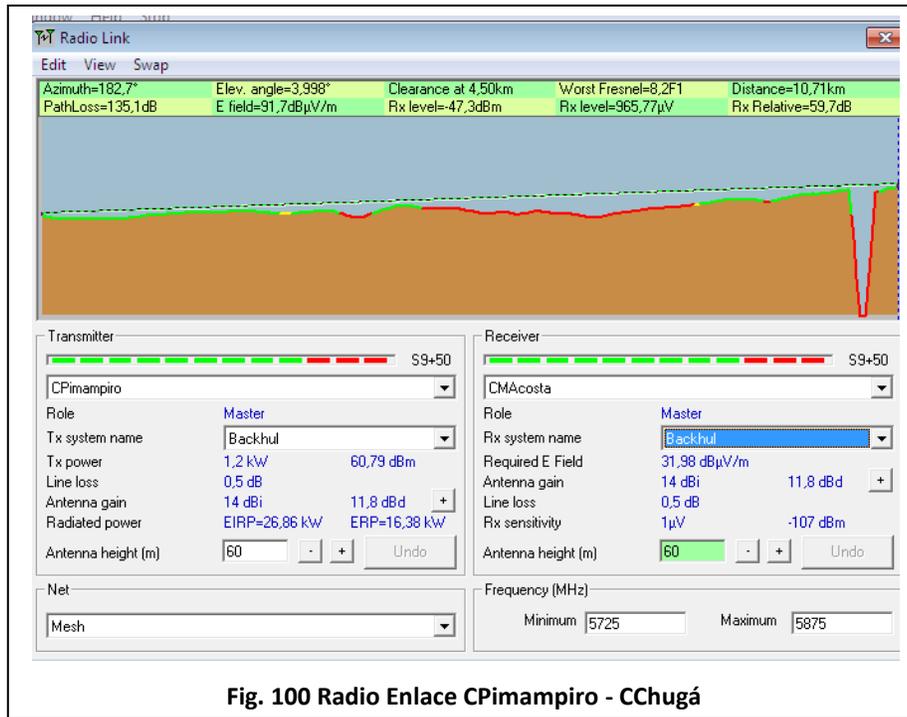


Fig. 100 Radio Enlace CPimampiro - CChugá

Enlace CChugá → CMariano Acosta

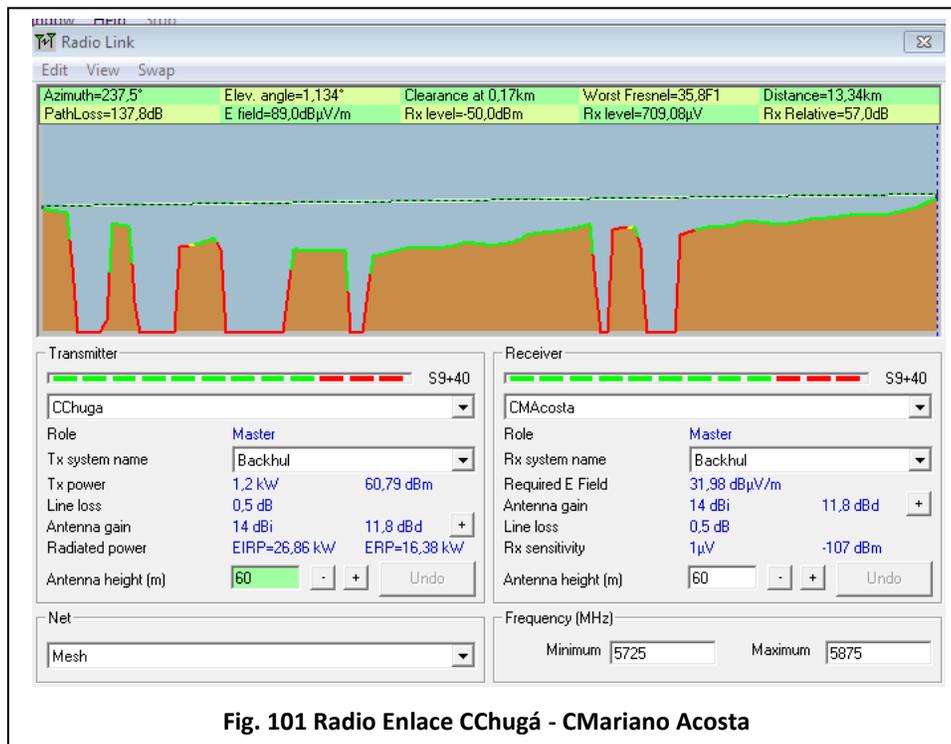
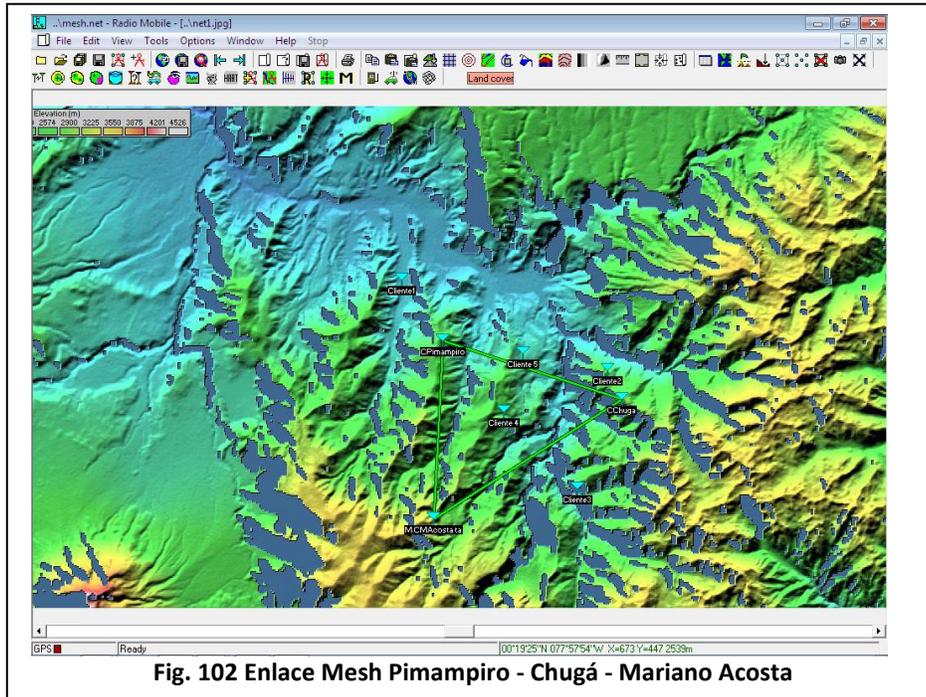


Fig. 101 Radio Enlace CChugá - CMariano Acosta

El enlace completo de interconexión entre los punto de Mariano Acosta Pimampiro y Chugá se presentan en la siguiente figura.



6.12 Selección de software Mesh para los equipos a utilizar

6.12.1 Software relacionado con hardware Mesh

Existe una serie de software y paquetes personalizados que están destinados para redes mesh en nuestro estudio hemos identificado algunos paquetes dentro de los cuales describiremos el software a utilizar.

Router OS (Sistema Operativo).-

El principal producto de Mikrotik es un Linux basado en sistema operativo conocido como Mikrotik RouterOS. Permite a los usuarios a su vez seleccionar la PC basado en la máquina en un router software, que permite funciones como firewall reglas, VPN Server y Cliente, ancho de banda, calidad de servicio, punto de acceso inalámbrico y otras características de uso general para el enrutamiento y conexión de redes.

GUI Existe un software llamado Winbox que ofrece una sofisticada interfaz gráfica de usuario para el sistema operativo RouterOS. El software también permite conexiones a través de FTP, telnet y SSH. También hay una API que permite crear aplicaciones personalizadas para la gestión y seguimiento.

Características

RouterOS soporta muchas aplicaciones que pueden ser utilizados por un ISP pequeño o grande, por ejemplo, OSPF , BGP , VPLS / MPLS .Es un sistema versátil, y está muy bien apoyado por Mikrotik, tanto a través de un foro y una Wiki proporciona una variedad de temáticas y ejemplos de configuraciones.

RouterBOARD

El RouterOS, combinada con su línea de productos de hardware, conocido como Mikrotik RouterBOARD , se comercializa en pequeñas y medianas empresas inalámbricas, proveedores de servicios de Internet , generalmente proporcionando acceso inalámbrico de banda ancha en áreas remotas.

Mikrotik	
	
<u>Tipo</u>	<u>Sociedad limitada</u>
<u>Industria</u>	<u>El hardware de red</u>
Fundado	1995
Sede	<u>Riga , Letonia</u>
<u>Productos</u>	<u>Routers , Firewalls</u>
<u>Sitio web</u>	<u>www.mikrotik.com</u>

6.13 Protocolo de Enrutamiento

Para nuestro estudio se ha escogido el protocolo MME propio de Mikrotik, este protocolo se analiza más detalladamente en el capítulo 4, el cual está destinado a ser utilizado en redes de malla, y es más adecuado para nodos inalámbricos con una interfaz lógica.

En la presente tabla se muestra el prototipo de la tabla de enrutamiento para nuestra red mesh.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de subred	Gateway por defecto
AP1 Municipio de Pimampiro 433AH/XR5	ETH1	190.110.206.1	255.255.255.252	
	WLAN 1 (5 GHZ)	BRIDGE ETH1		
AP2 Nodo de Pimampiro 433AH/XR5	ETH1	190.110.206.2	255.255.255.252	
	WLAN 1 (5 GHZ)	BRIDGE ETH1		
AP3 Municipio de Pimampiro BACKUP 433AH/XR5	ETH1	190.110.206.1	255.255.255.252	
	WLAN 1 (5 GHZ)	BRIDGE ETH1		
AP4 Nodo de Pimampiro BACKUP 433AH/XR5	ETH1	190.110.206.2	255.255.255.252	
	WLAN 1 (5 GHZ)	BRIDGE ETH1		
AP5 Nodo Pimampiro 433AH/R52	ETH1	190.110.206.2	255.255.255.252	190.110.206.1
	WLAN1(5 GHZ)	BRIDGE MESH		
	WLAN2(2.4 GHZ)	BRIDGE MESH		
	MESH	172.16.0.1	255.255.0.0	
	DHCP	172.16.0.30 - 172.16.255.254	255.255.0.0	172.16.0.1
AP6 Nodo Pimampiro BACKUP 433AH/R52	ETH1	190.110.206.2	255.255.255.252	190.110.206.1
	WLAN1(5 GHZ)	BRIDGE MESH		
	WLAN2(2.4 GHZ)	BRIDGE MESH		
	MESH	172.16.0.1	255.255.0.0	
	DHCP	172.16.0.30 - 172.16.255.254	255.255.0.0	172.16.0.1
AP5 Nodo Chuga 433AH/R52	WLAN1(5 GHZ)	BRIDGE MESH		172.16.0.1
	WLAN(2.4 GHZ)	BRIDGE MESH		172.16.0.1
	WLAN3(5 GHZ) BACKUP	BRIDGE MESH		172.16.0.1
AP5 Nodo Mariano Acosta 433AH/R52	WLAN1(5 GHZ)	BRIDGE MESH		172.16.0.1
	WLAN(2.4 GHZ)	BRIDGE MESH		172.16.0.1
	WLAN3(5 GHZ) BACKUP	BRIDGE MESH		172.16.0.1

Tabla 20 Tabla de Enrutamiento

HotSpot

Entre los diferentes servicios proporcionados por un Mikrotik permite la autenticación de los clientes antes de acceder a las redes públicas, además mediante una planificación se puede llegar a establecer el ancho de banda con el cual el usuario o usuarios navegarán durante la conexión.

Por ejemplo se podría en nuestro caso crear un usuario para cada parroquia a la cual se le asignaría un ancho de banda específico.

Características:

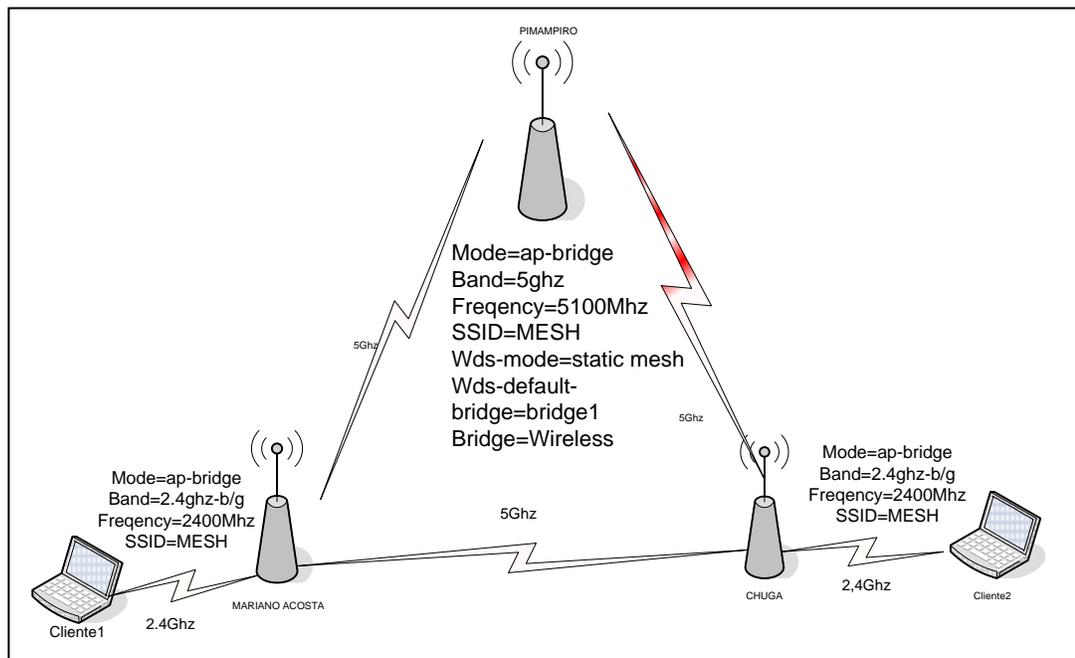
- ✓ Métodos de autenticación distintos de clientes que utilizan la base de datos local del cliente en el router, o un servidor RADIUS remoto.
- ✓ Los usuarios de contabilidad en la base de datos local en el router o en el servidor RADIUS remoto.
- ✓ Modificación de la página de inicio de sesión, donde se puede mostrar información acerca de la empresa.
- ✓ Cambio automático y transparente cualquier dirección IP de un cliente a una dirección válida.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

- ✓ Para conectarse, los usuarios pueden utilizar casi cualquier navegador Web (HTTP o el protocolo HTTPS), por lo que no es necesario instalar software adicional.
- ✓ El sistema de HotSpot puede limitar el bitrate de cada usuario en particular, la cantidad total del tráfico, el tiempo de actividad entre otros.

Parámetros:

- ❖ Habilitamos las wlan de cada uno de los equipos
- ❖ Definimos modo: ap-bridge, banda: 2,4 para clientes y 5,8 para nuestro backbone, frecuencia la cual depende de la banda y el ssid que es el mismo en todos los equipos.
- ❖ Registramos las mac mediante la creación de WDS en cada uno de los equipos y verificamos que se hayan registrado.
- ❖ Crear la red Mesh y definimos los puertos que pertenecen a la Red Mesh
- ❖ Definimos dos ips: Una IP para la red LAN y otra por la cual se tendrá acceso al servicio de internet.



Implementación y Configuración de Equipos para la red Mesh Pimampiro

El software que nos permite acceder a la configuración de los equipos es Winbox.

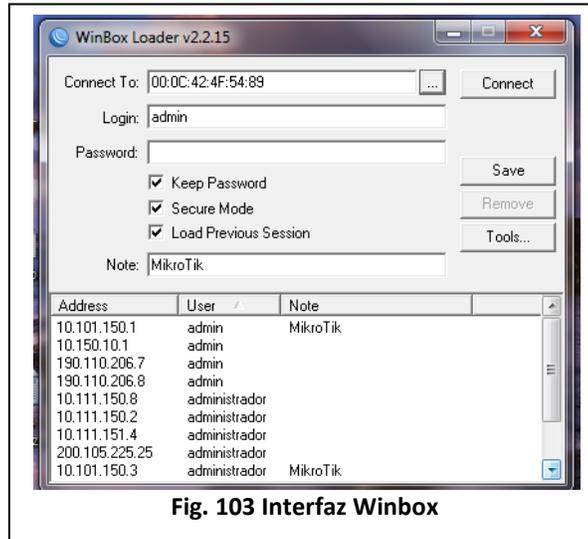


Fig. 103 Interfaz Winbox

Para ingresar a los equipos debemos realizar un escaneo en el cual despliega las MACs e ips asignadas a cada uno de los equipos para la configuración, se coloco los equipos en un switch logrando de esta manera configurar los tres equipos desde una sola PC.

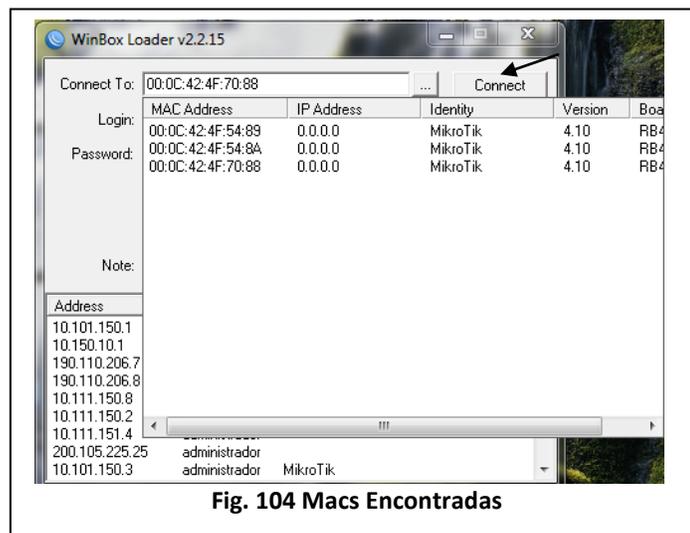
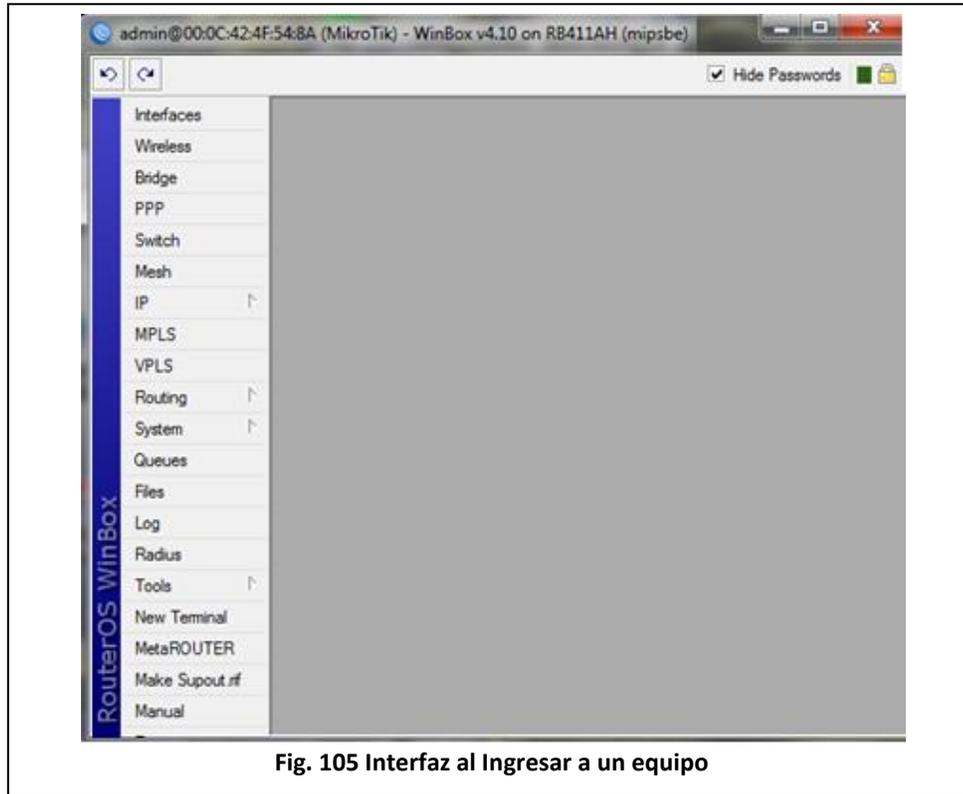
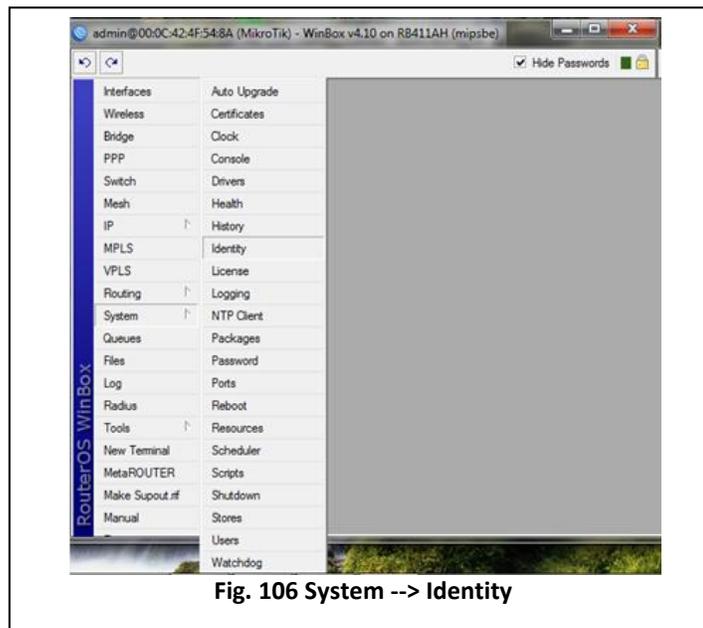


Fig. 104 Macs Encontradas

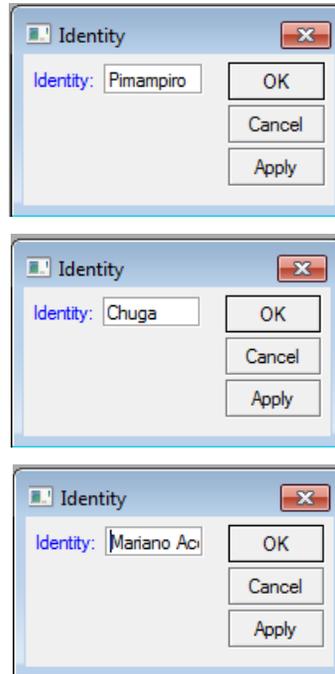
De la lista de Macs elegimos la mac a configurar y damos clic en **Connect** nos despliega la siguiente interfaz.



Primero asignamos un nombre a cada equipo para que al momento de las configuraciones no tengamos mayores dificultades debido a que únicamente podríamos identificar al equipo por la mac para lo cual en el menú elegimos System → Identity



Empezaremos colocando nombres a cada uno de los equipos para poder distinguir al momento de la configuración.



Para la configuración de la red mesh configuraremos la wlan de cada equipo.

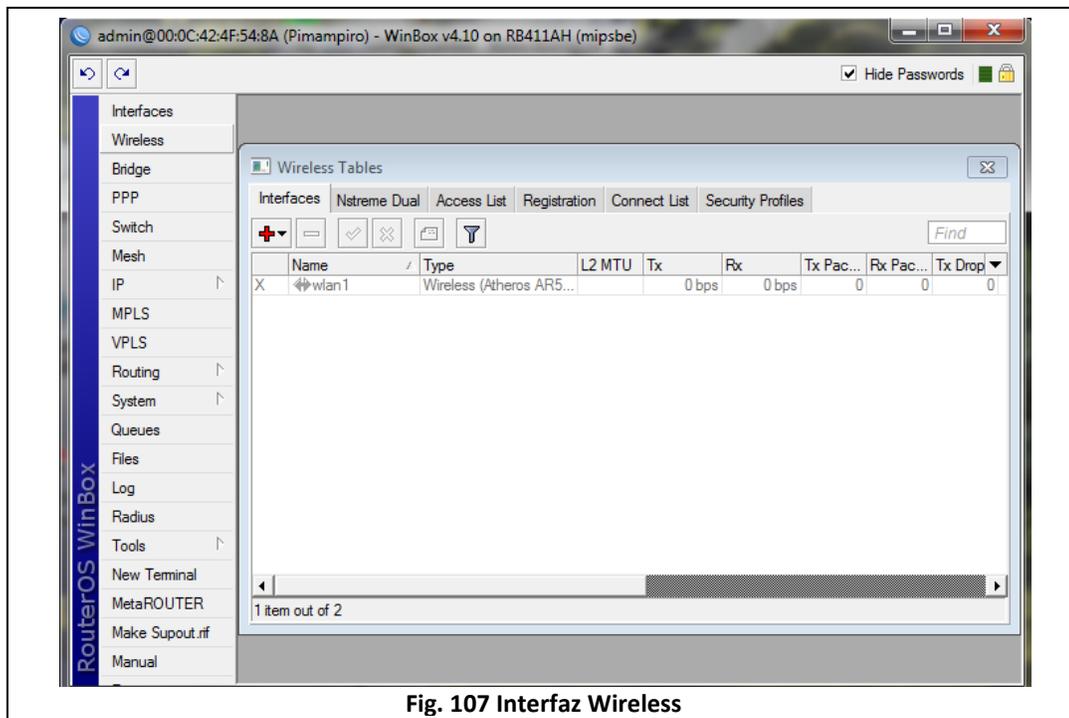


Fig. 107 Interfaz Wireless

Para la configuración de la wlan damos doble clic en wlan1 y nos presenta la siguiente interfaz:

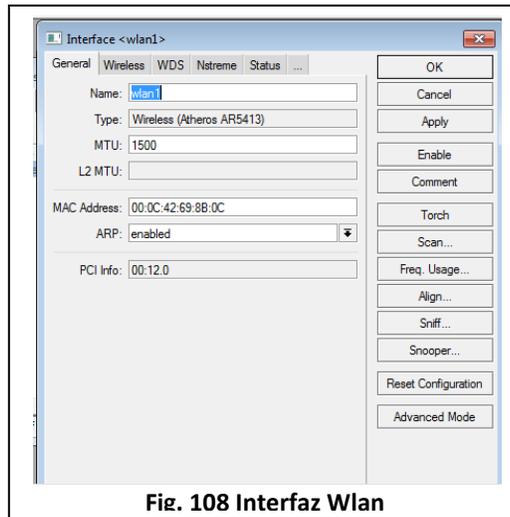


Fig. 108 Interfaz Wlan

Damos clic en Wireless definimos los parámetros para nuestra red: el modo de operación de nuestra radio, la banda y las frecuencias, además definimos el SSID que es un parámetro importante dentro de nuestra red mesh.

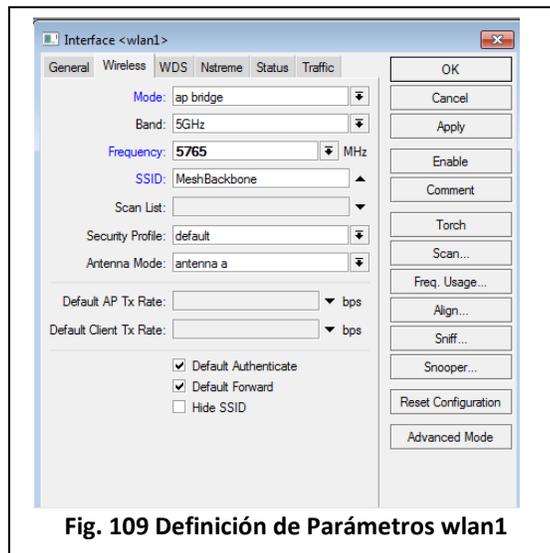
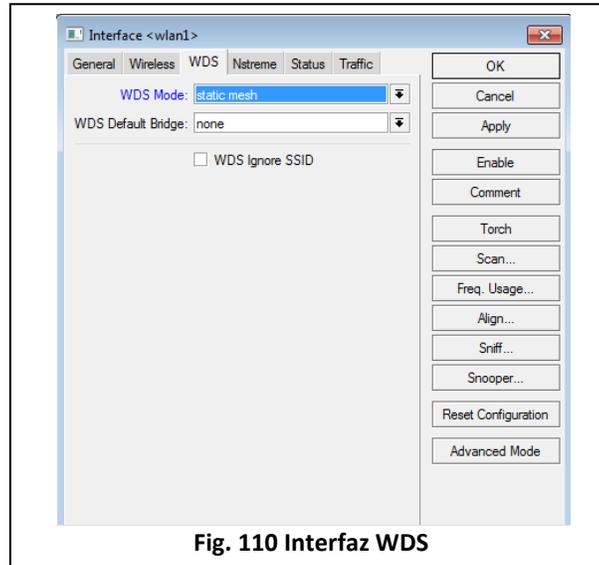
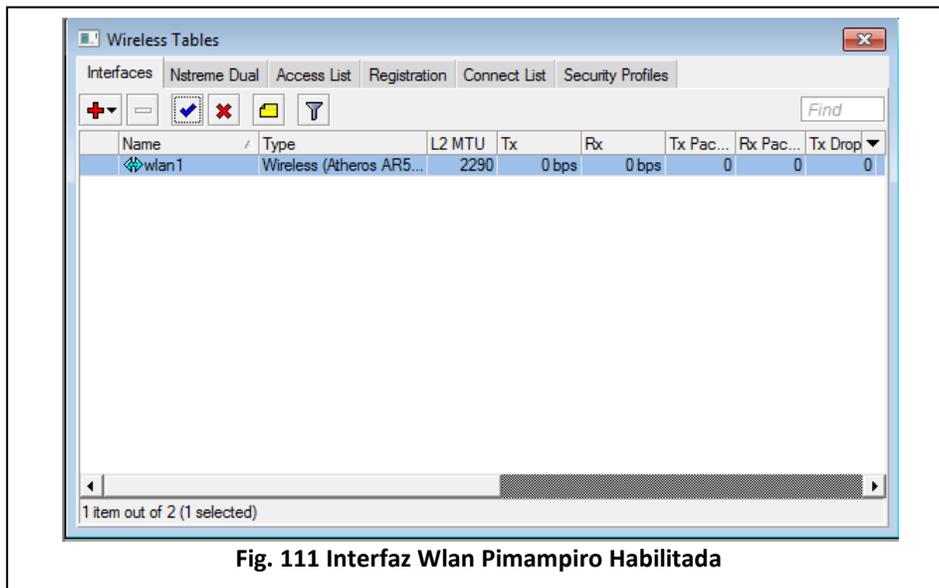


Fig. 109 Definición de Parámetros wlan1

En la pestaña WDS elegimos el tipo de red mesh que vamos a implementar: **static mesh** y habilitamos para lo cual damos clic en Enable.



Si en la ventana anterior no se habilito la Wlan dando clic en y como se indica en la siguiente figura se visualizara la wlan de diferente color.



Para que las radios se visualicen entre si damos clic en y escogemos WDS.

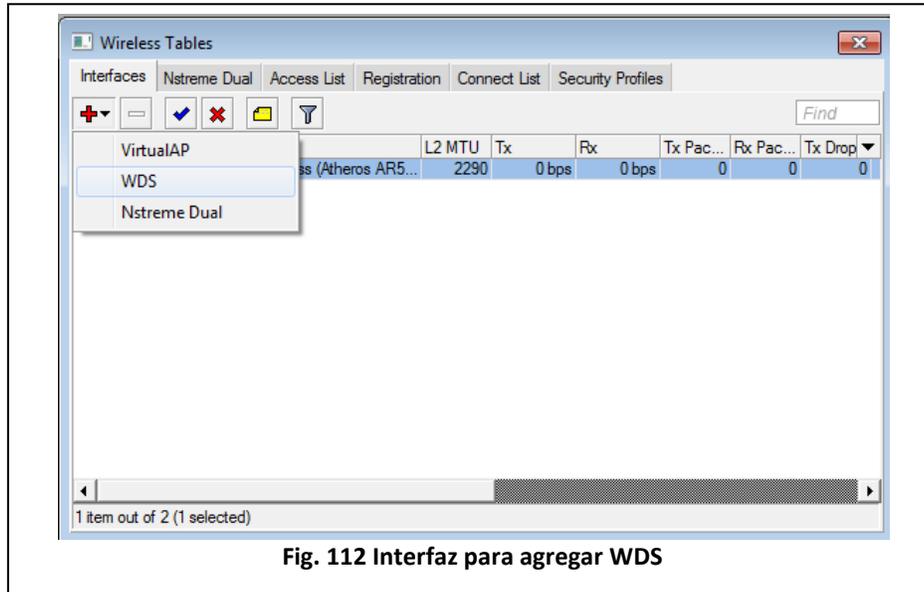


Fig. 112 Interfaz para agregar WDS

Se despliega la siguiente ventana en la cual ingresamos nuestra primera WDS y en el name colocamos Chugá.

Escogemos la pestaña WDS e ingresamos la Mac de la radio Chugá es decir primero debemos ir hacia la radio de Chugá y copiar la mac una vez ingresada la información necesaria damos clic en OK.

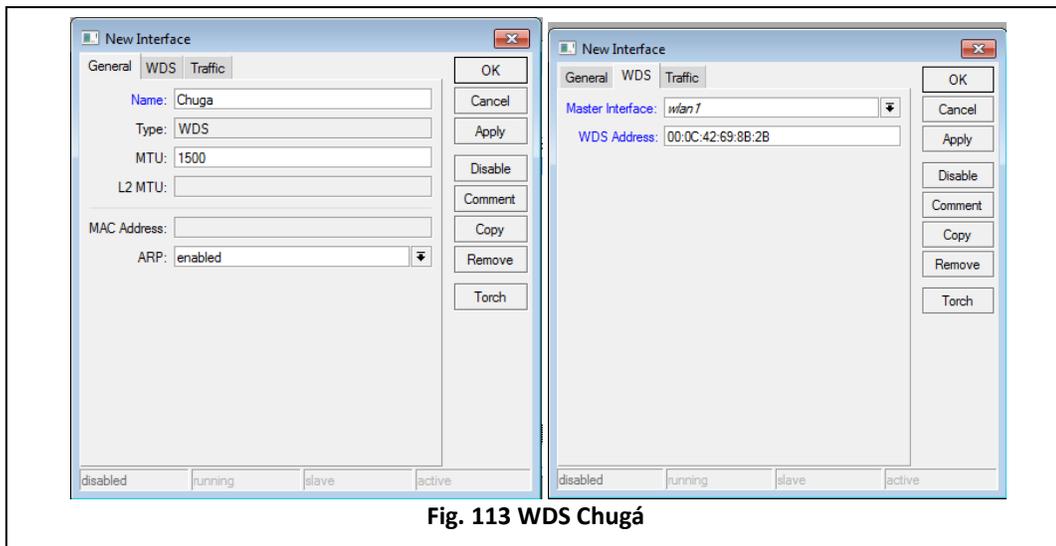


Fig. 113 WDS Chugá

Agregamos la siguiente interfaz para el otro punto en nuestro caso Mariano Acosta

De la misma forma como hicimos con el segundo punto agregamos la MAC de la radio de Mariano Acosta.

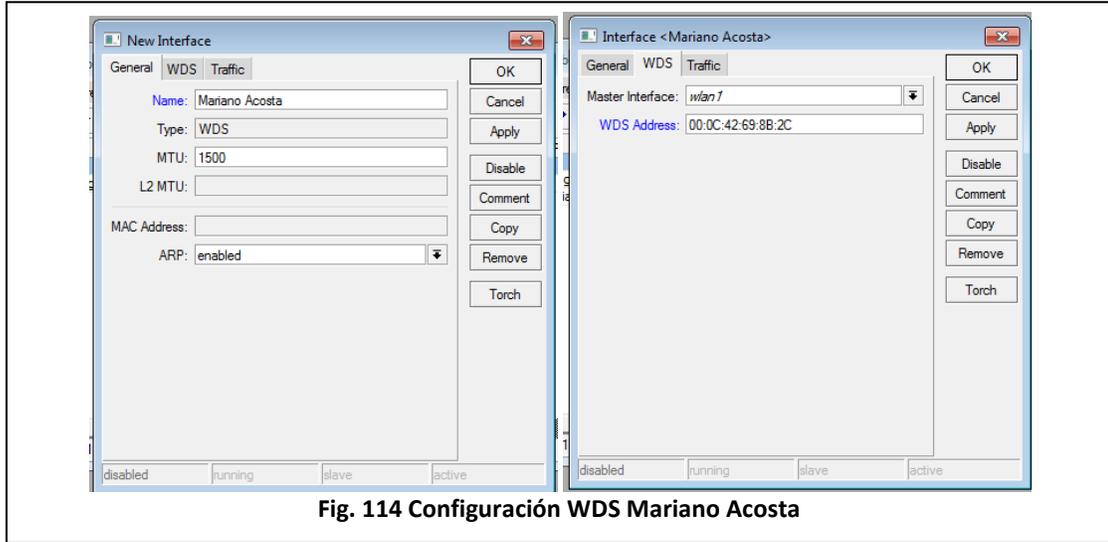


Fig. 114 Configuración WDS Mariano Acosta

Chugá

De la misma manera que en Pimampiro debemos realizar la configuración de la Wlan para lo cual ingresamos en el radio de Chugá, escogemos el menú Wireless y nos presenta la siguiente interfaz.

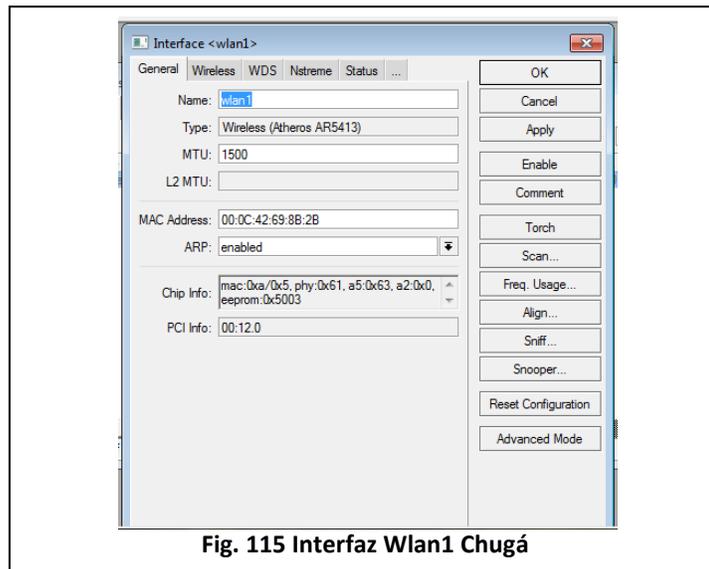


Fig. 115 Interfaz Wlan1 Chugá

Nos desplazamos hacia la pestaña Wireless en la cual escogemos el modo de operación, la banda y la frecuencia, la cual debe ser igual que la configuración de la anterior radio, inclusive el SSID.

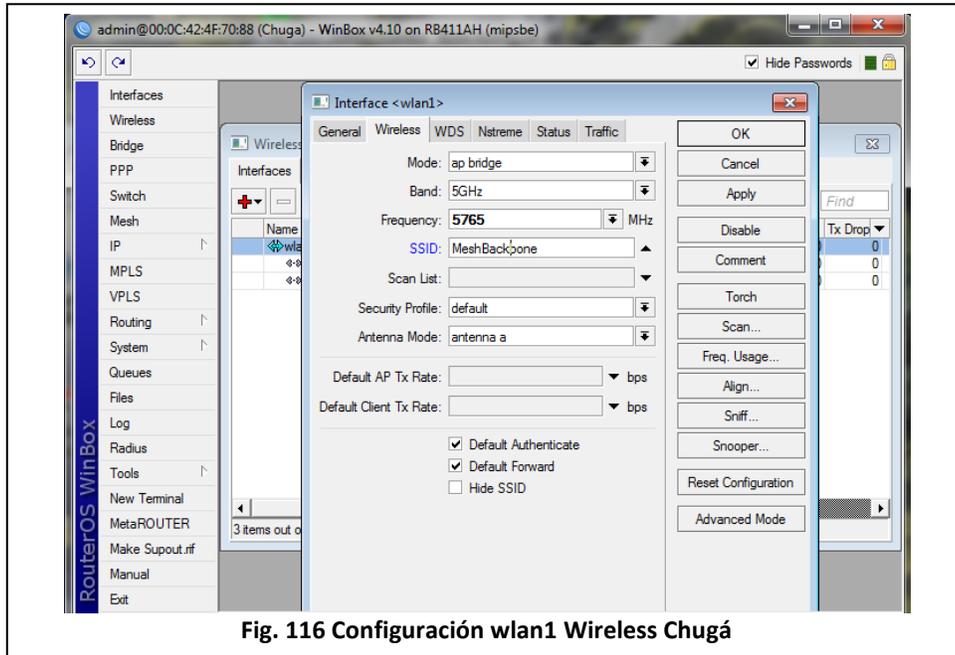


Fig. 116 Configuración wlan1 Wireless Chugá

Siguiendo con la configuración del equipo escogemos la pestaña WDS en la cual escogemos el modo WDS y habilitamos la wlan dando clic en Enable.

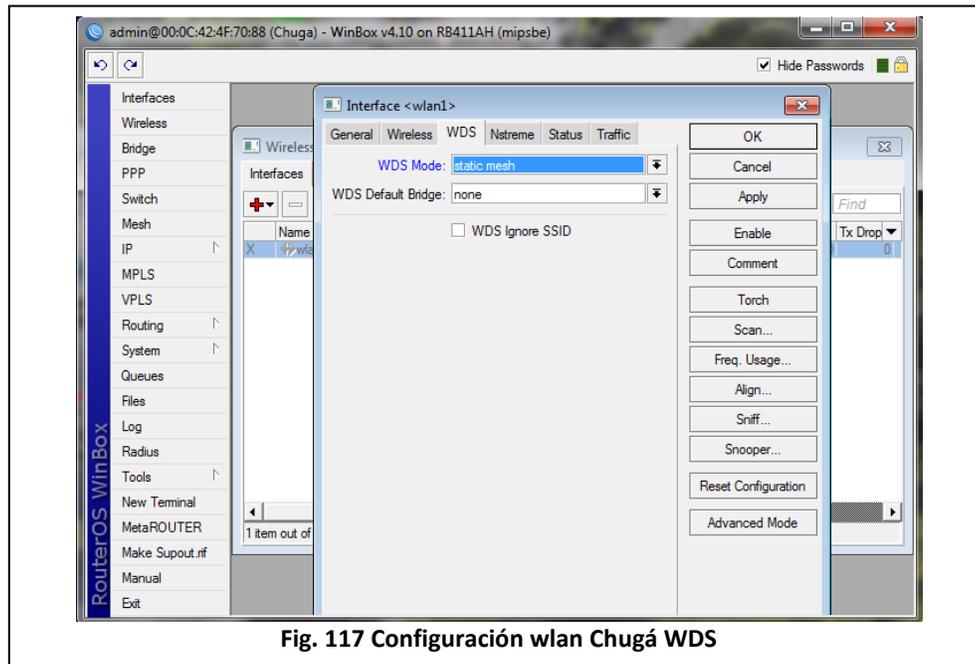
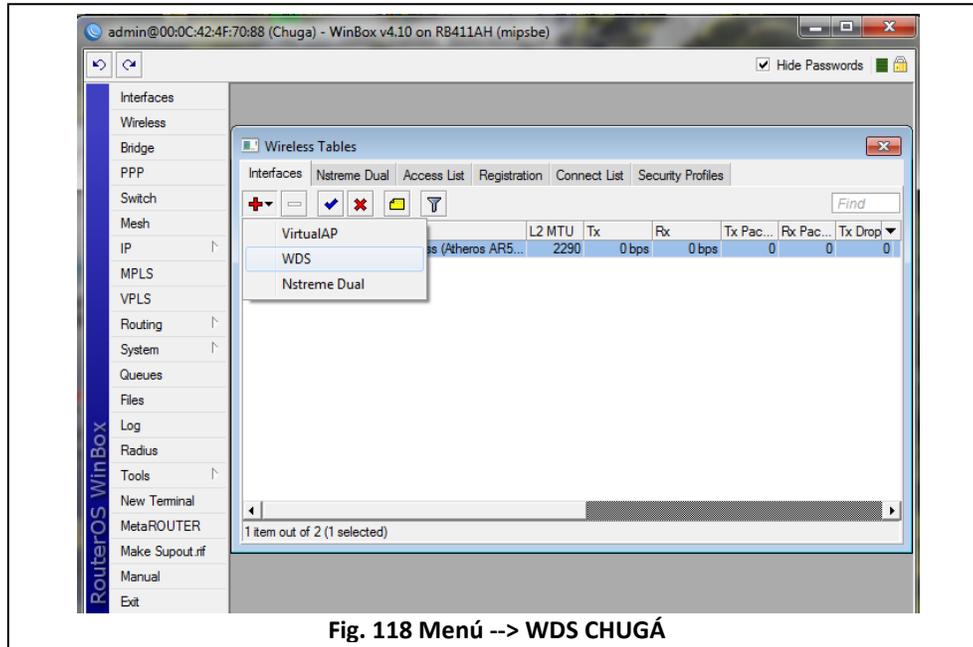


Fig. 117 Configuración wlan Chugá WDS

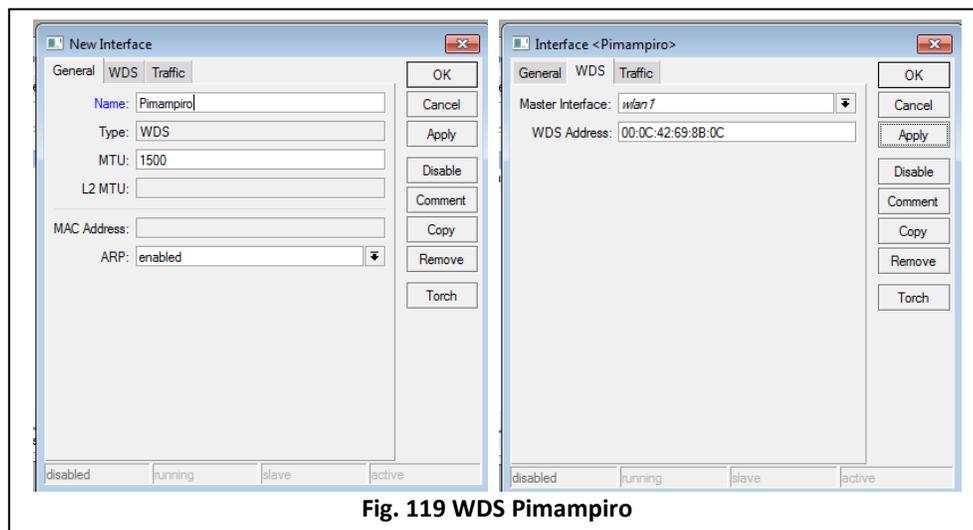
Empezamos a ingresar las WDS para lo cual en la figura ingresamos en WDS



En el nombre colocamos Pimampiro

Ingresamos en la radio de Pimampiro para copiar la MAC.

Volvemos a la radio anterior y en la pestaña WDS colocamos la mac.



Añadimos una nueva interfaz para el siguiente punto y colocamos el nombre Mariano Acosta

En la pestaña WDS ingresamos la Mac copiada desde la radio de Mariano Acosta

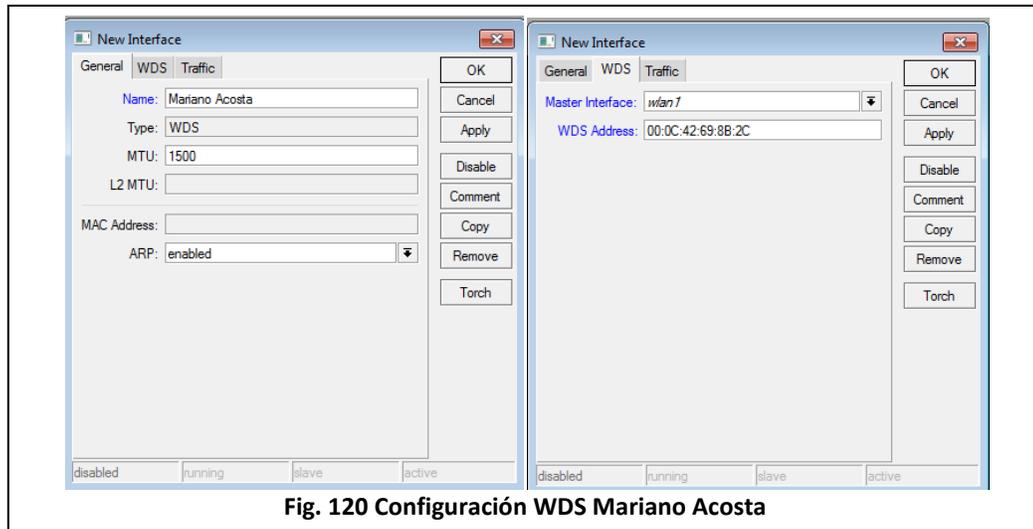


Fig. 120 Configuración WDS Mariano Acosta

Mariano Acosta

Empezaremos con la configuración del último punto Mariano Acosta.

Damos Doble clic sobre la wlan y nos presenta la siguiente interfaz.

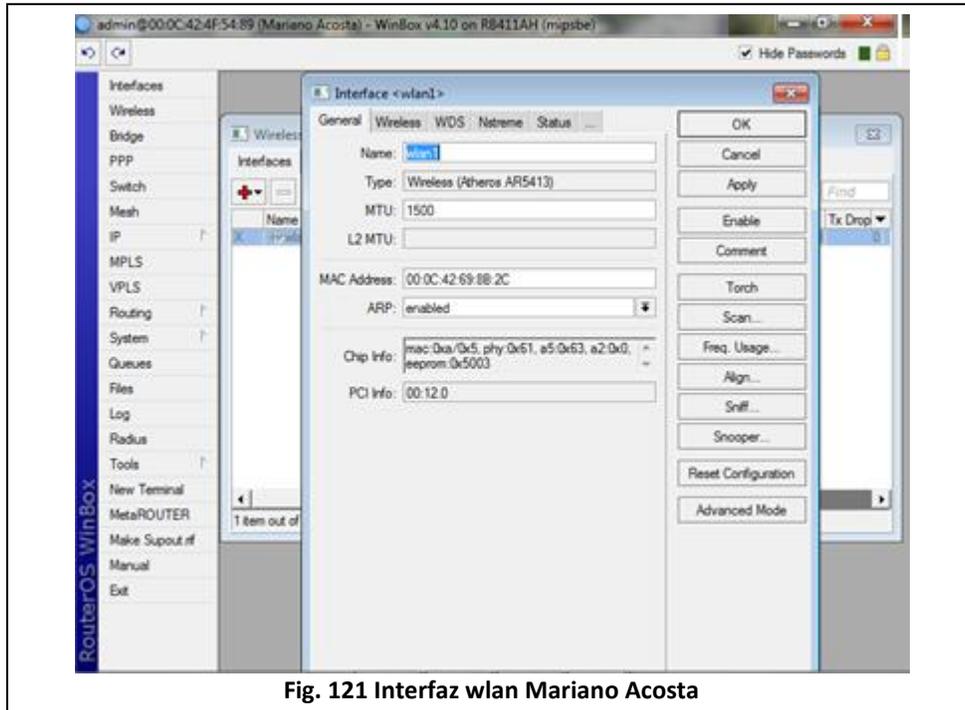


Fig. 121 Interfaz wlan Mariano Acosta

Nos desplazamos hacia la pestaña Wireless en la cual definimos el modo, la banda y frecuencia, además el SSID es el mismo que debe tener las anteriores radios configuradas.

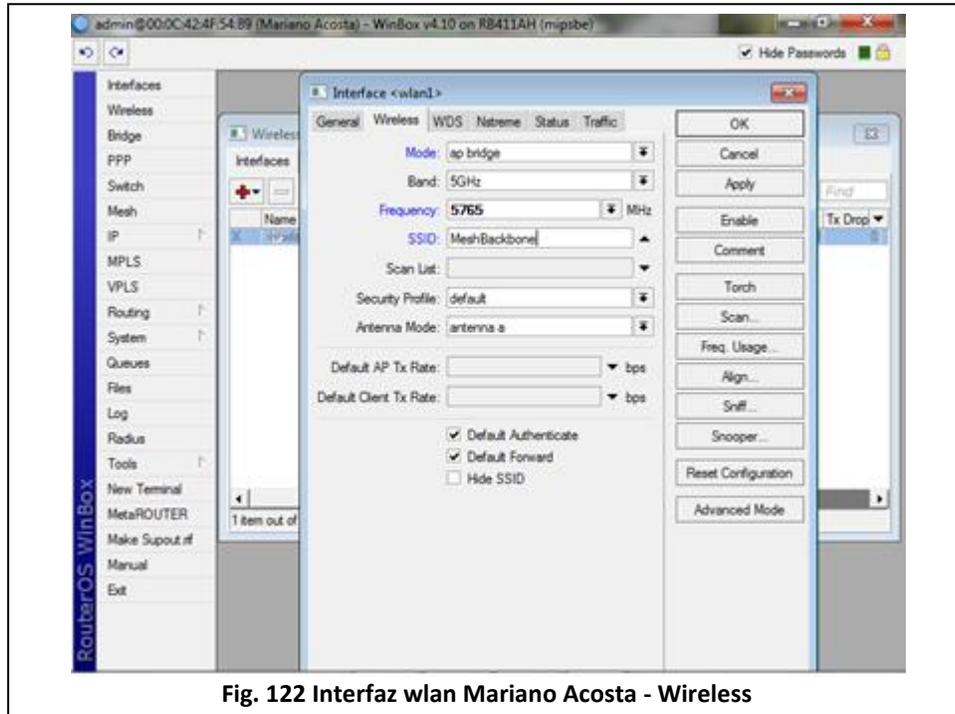


Fig. 122 Interfaz wlan Mariano Acosta - Wireless

Nos desplazamos a WDS y escogemos el modo que debe ser igual que el configurado en las anteriores radios (static mesh) y damos clic en Enable para habilitar la wlan.

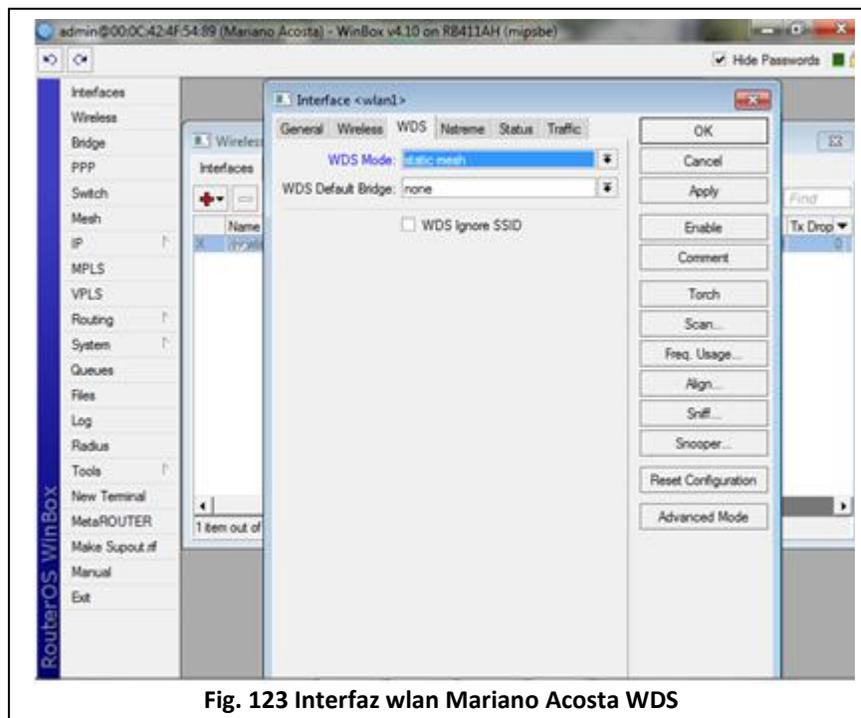


Fig. 123 Interfaz wlan Mariano Acosta WDS

Cuando se haya terminado con la configuración del Wireless damos clic en ok e inmediatamente volveremos a la interfaz anterior. Creamos la WDS para Pimampiro.

Ingresamos en la radio de Pimampiro y copiamos la mac e ingresamos esa información en la interfaz anterior.

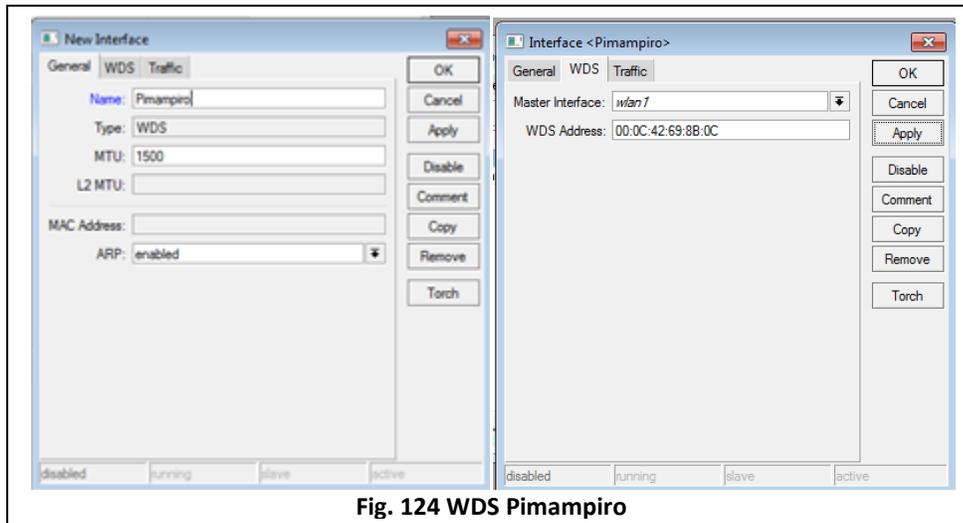


Fig. 124 WDS Pimampiro

Creamos la siguiente interfaz WDS para la radio de Chugá

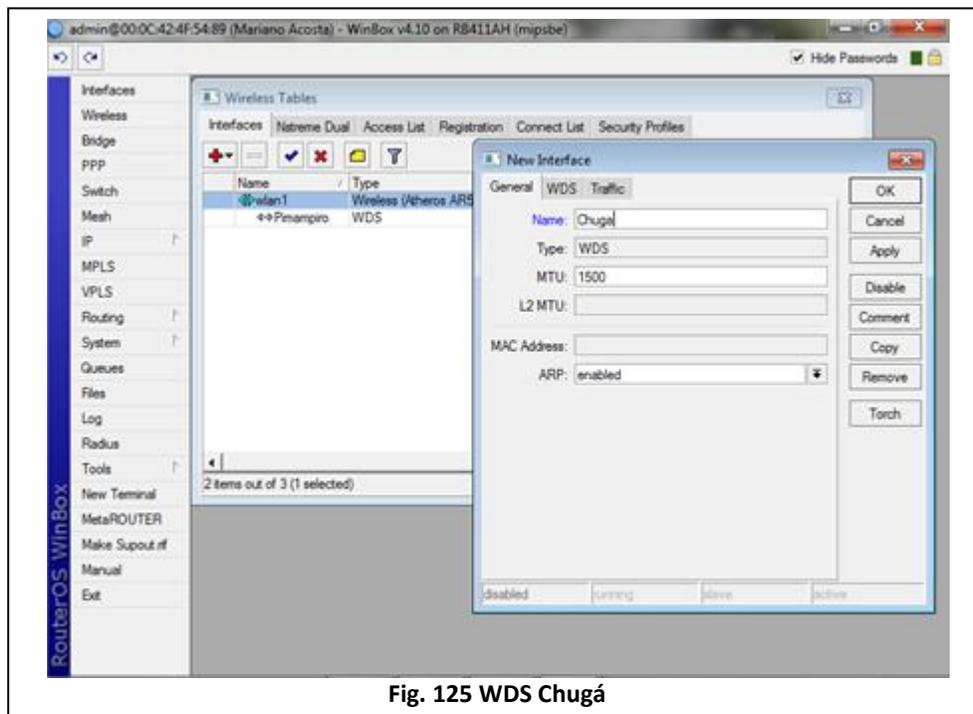


Fig. 125 WDS Chugá

Ingresamos en la radio de Chugá para copiar la Mac

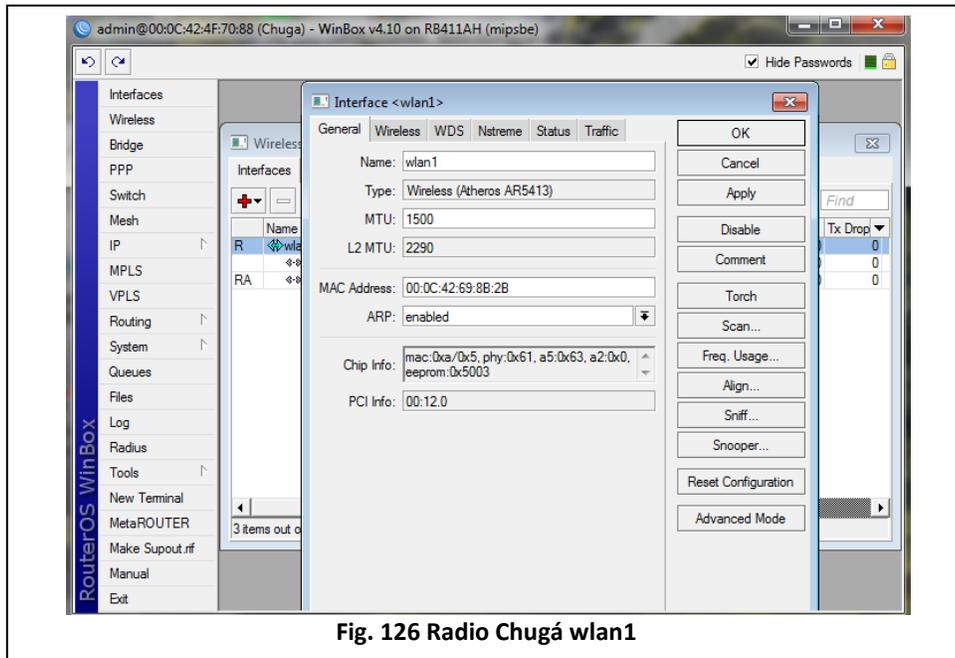


Fig. 126 Radio Chugá wlan1

Esa información es ingresada en la pestaña WDS.

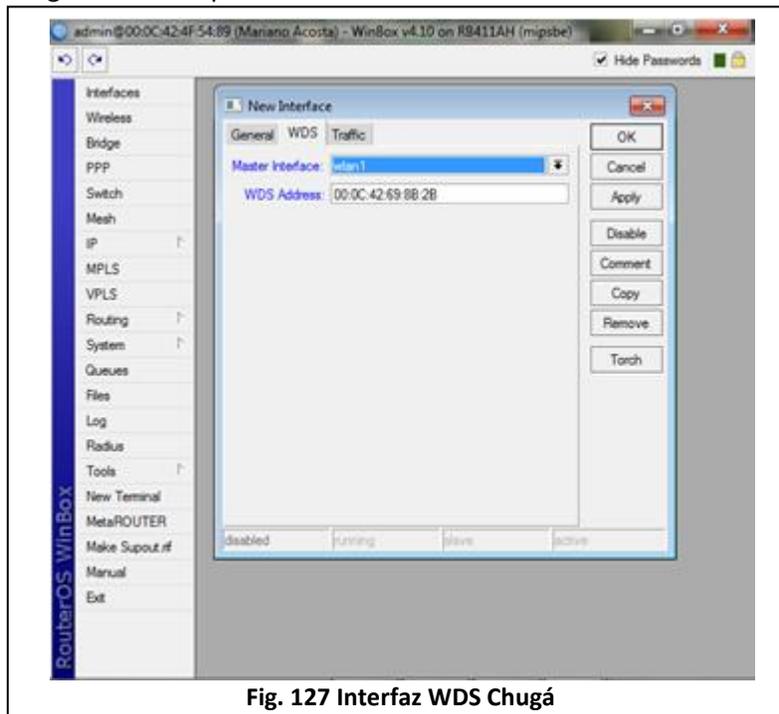


Fig. 127 Interfaz WDS Chugá

Cuando terminemos el ingreso de la interfaz podremos visualizar las WDS creadas además visualizaremos que nuestra WDS han sido registradas es decir que existe conexión entre las tres

radios, como en este momento estamos en la radio de Mariano Acosta visualizaremos las WDS de Chugá y Pimampiro.

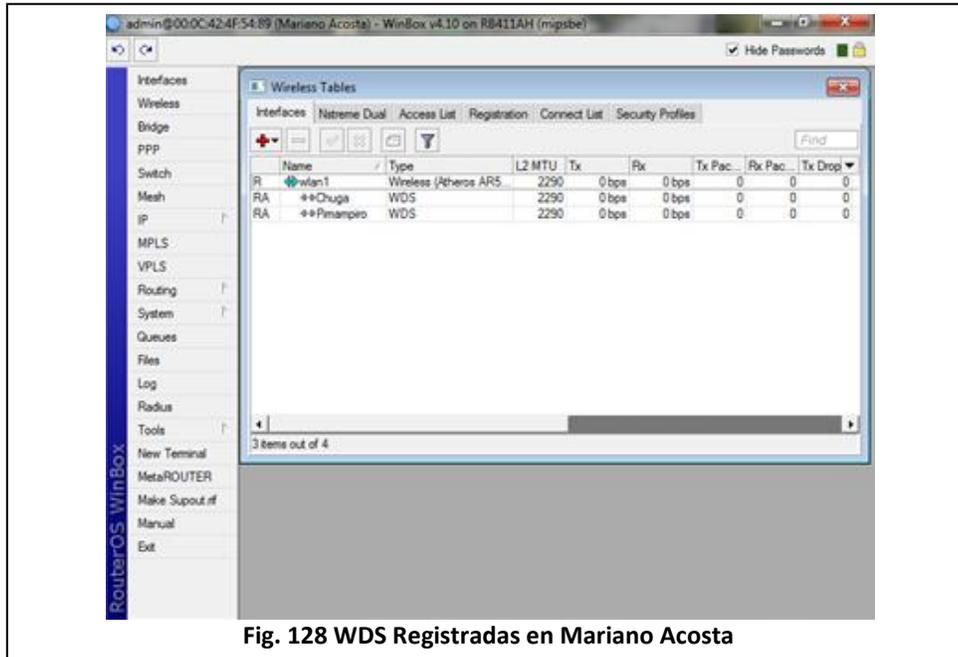


Fig. 128 WDS Registradas en Mariano Acosta

En Chugá se registrará en cambio Pimampiro y Mariano Acosta

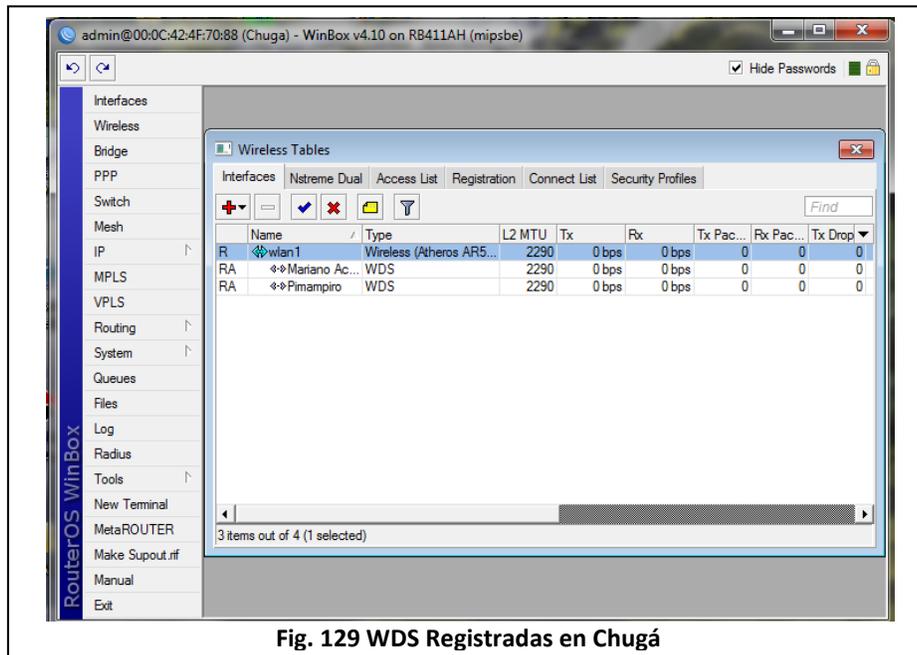


Fig. 129 WDS Registradas en Chugá

En Pimampiro se registraran Chugá y Mariano Acosta.

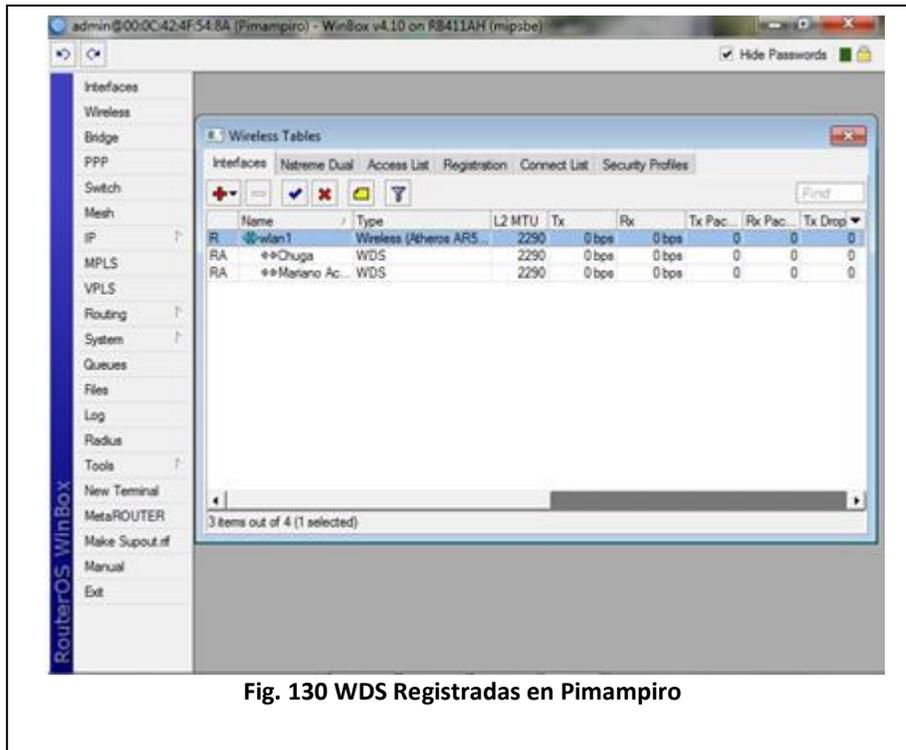
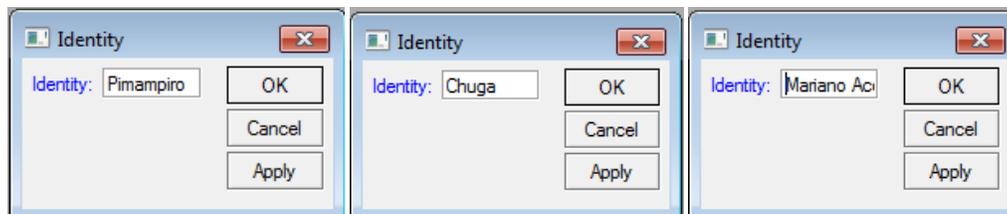


Fig. 130 WDS Registradas en Pimampiro

Configuración de BACKHAUL

Primero colocaremos los nombres de nuestras radios: Pimampiro Chugá y Mariano Acosta para identificar cada radio a que nodo corresponde.



Comenzaremos configurando la radio del punto principal en nuestro caso Pimampiro.

Escogemos menú Wireless para la configuración de la wlan damos doble clic sobre la misma y se presenta la siguiente interfaz en la cual definimos el modo, la banda y la frecuencia además el SSID que identificara la red a la cual nos estamos conectando.

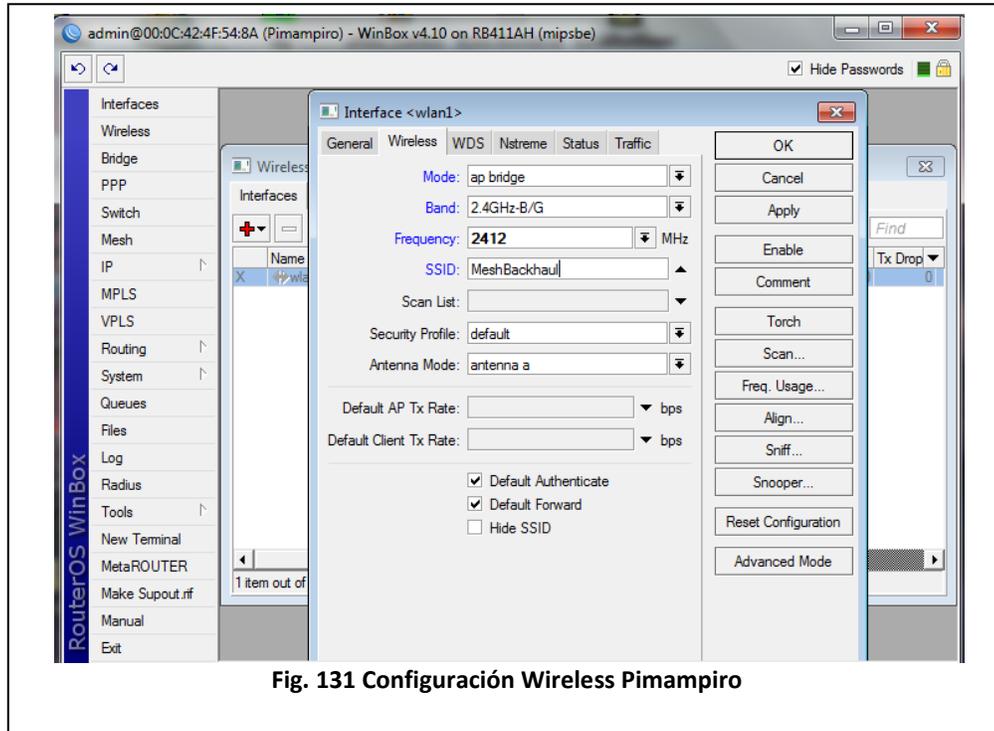


Fig. 131 Configuración Wireless Pimampiro

Configuramos la WDS en la cual escogemos el modo de la misma.

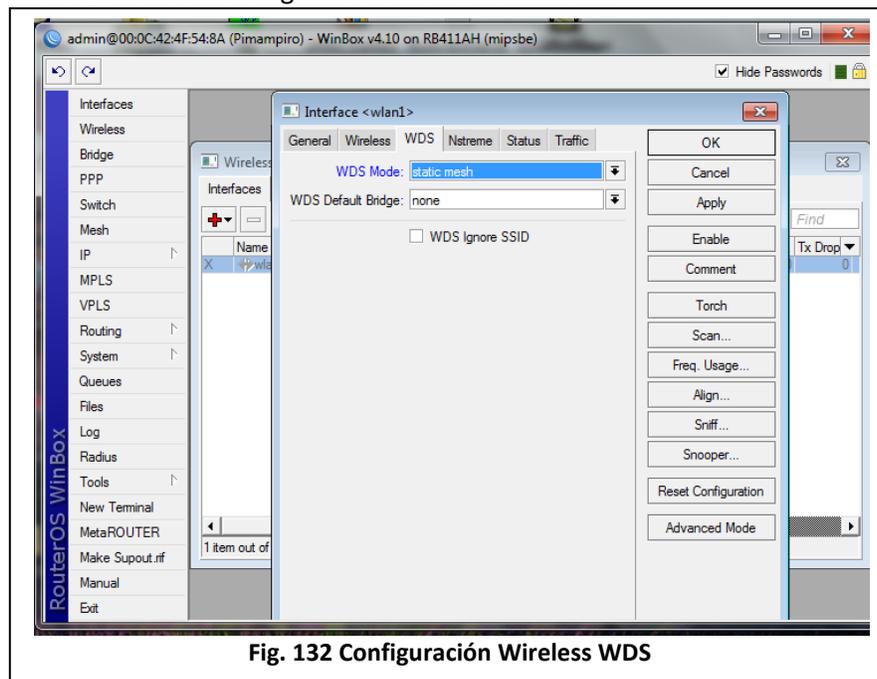


Fig. 132 Configuración Wireless WDS

Habilitamos la wlan; al habilitar nos muestra con un color diferente.

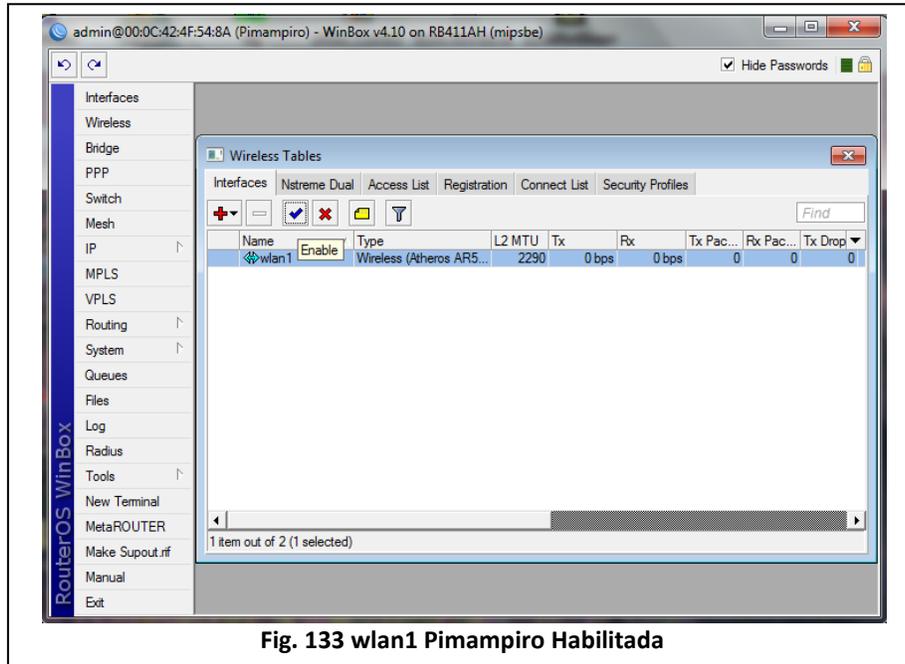


Fig. 133 wlan1 Pimampiro Habilitada

Configuraremos el siguiente punto Chugá para lo cual damos doble clic sobre la wlan y procedemos a configurar los parámetros como ap. bridge Banda de 2.4 y la frecuencia, además ingresamos en SSID con el cual se conectarán los 3 radios Mikrotik.

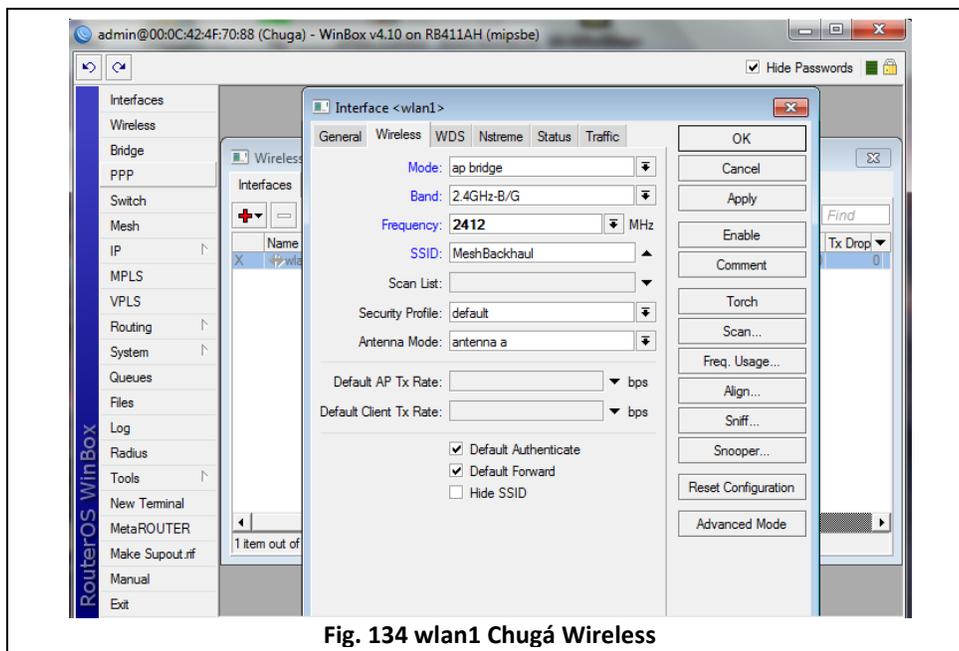
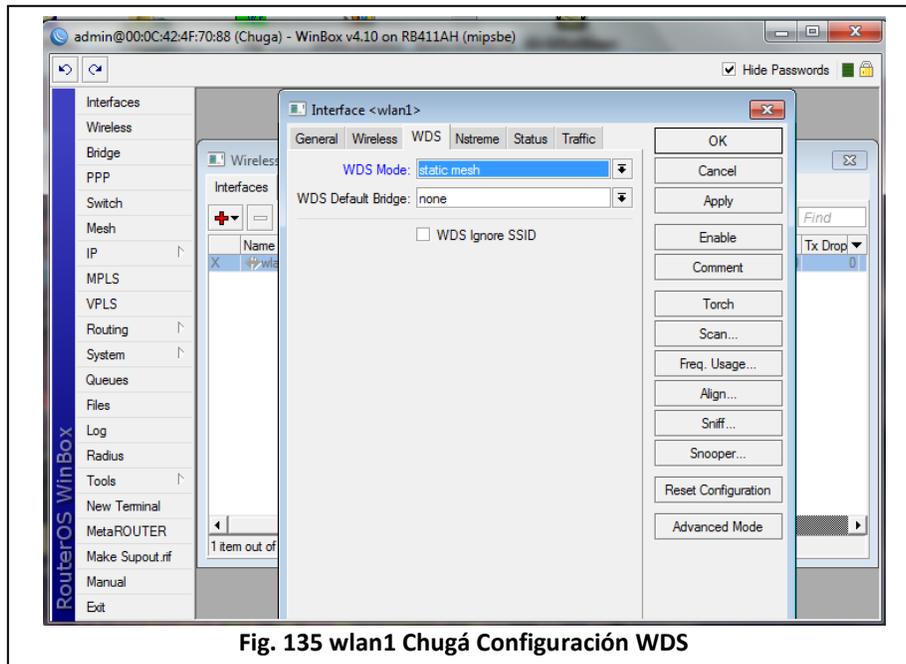
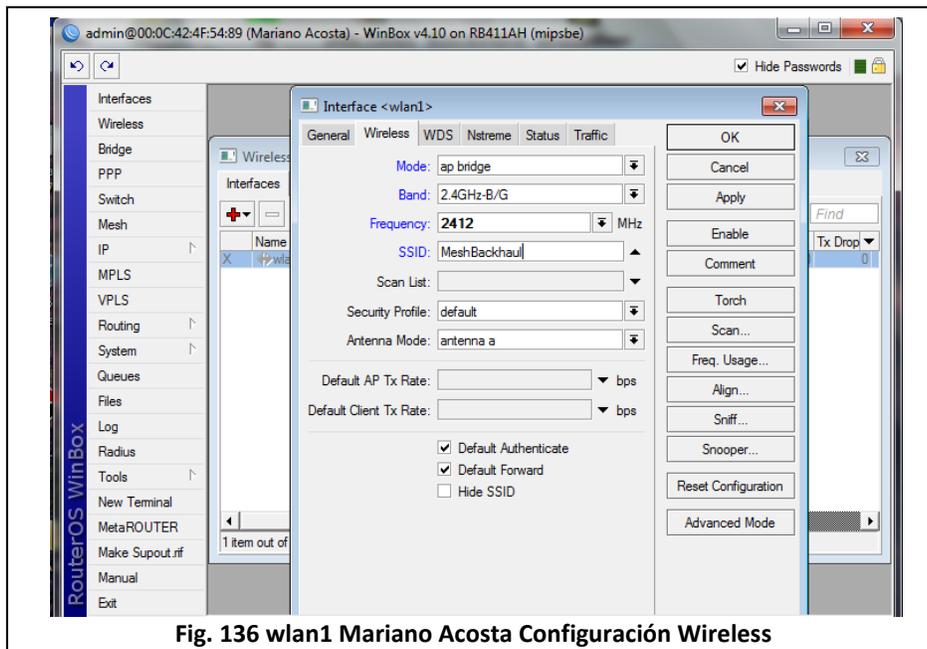


Fig. 134 wlan1 Chugá Wireless

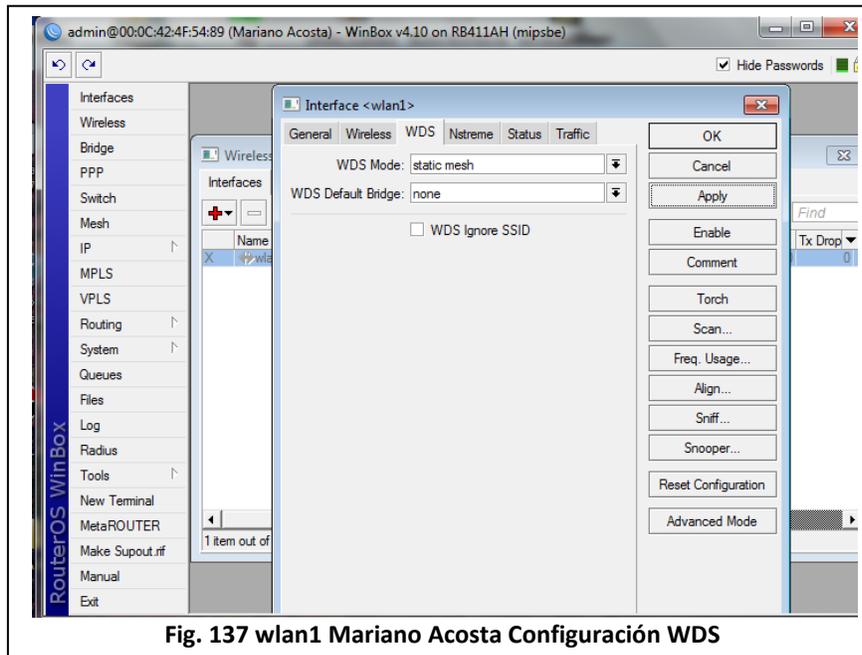
Cuando terminamos con la configuración de la Wireless nos desplazamos hacia la pestaña WDS en la cual escogemos el modo de WDS static mesh y damos clic en OK.



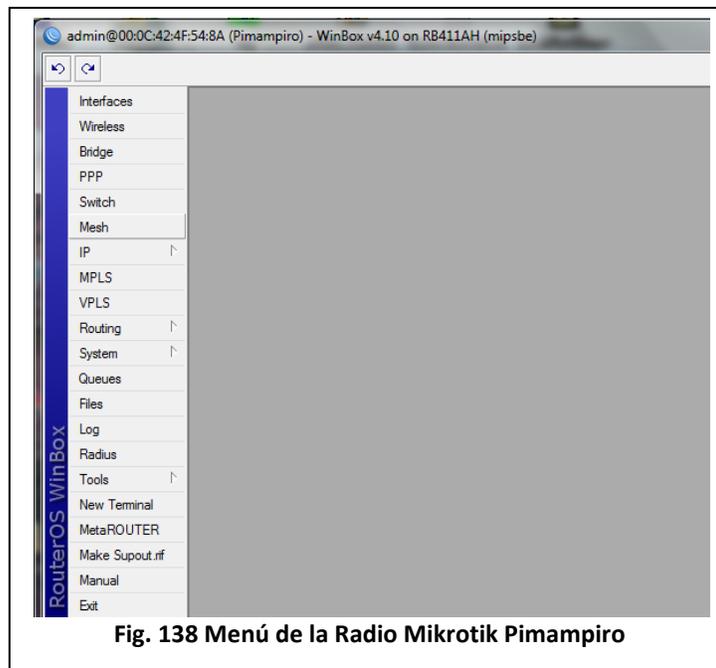
En la radio de Mariano Acosta procedemos con la configuración para lo cual ingresamos en el equipo e ingresamos en Wireless nos muestra la wlan damos clic y empezamos con la configuración del modo, la banda, la frecuencia y el SSID exactamente igual que las radios anteriores.



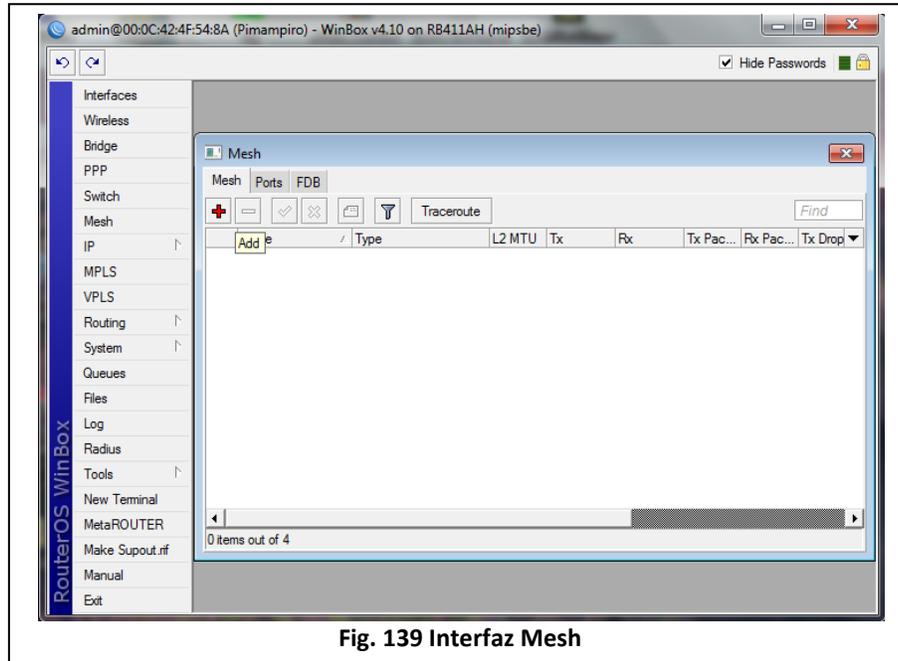
Nos desplazamos a las pestaña de WDS y configuramos el modo el mismo que debe ser exactamente igual que las radios anteriores.



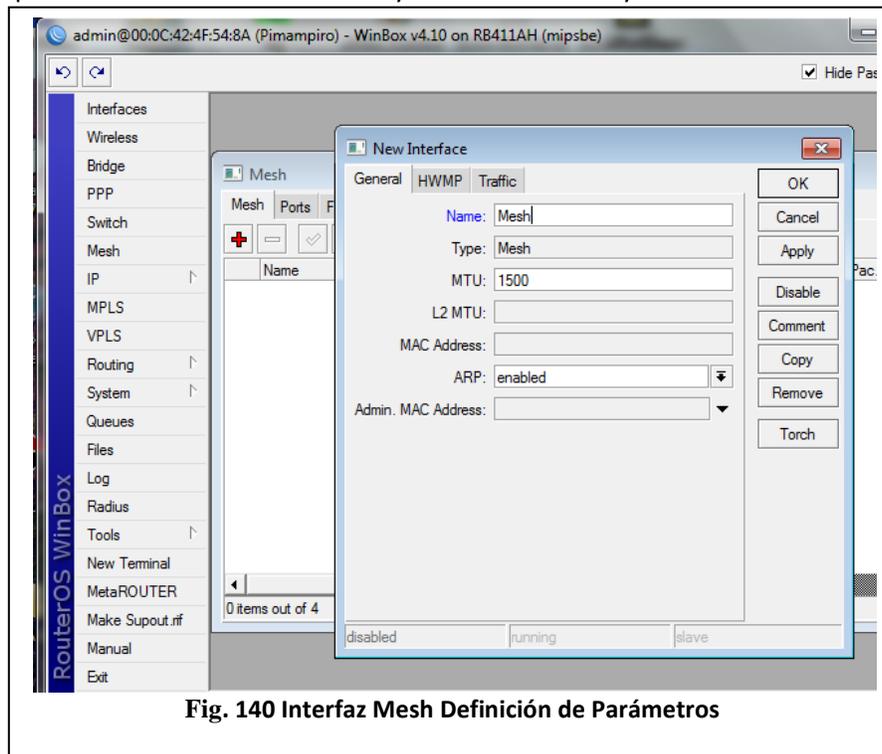
En el punto principal empezamos con la creación de la interfaz Mesh para lo cual en el menú escogemos Mesh.



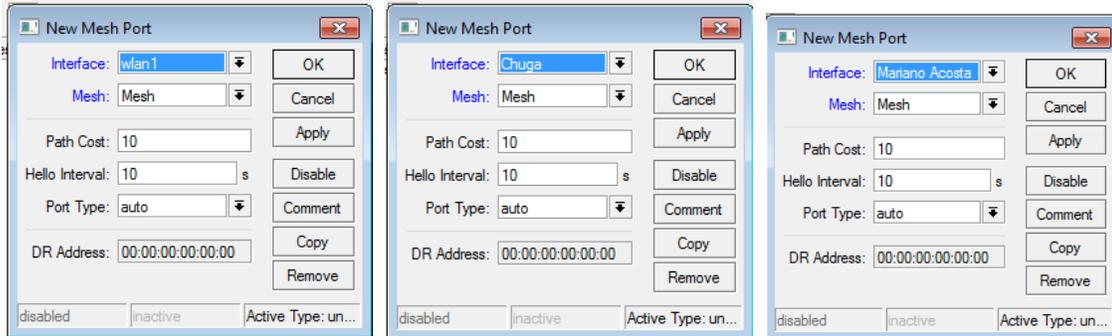
Nos presenta la siguiente interfaz y en el siguiente icono elegimos  y agregamos la nueva interfaz



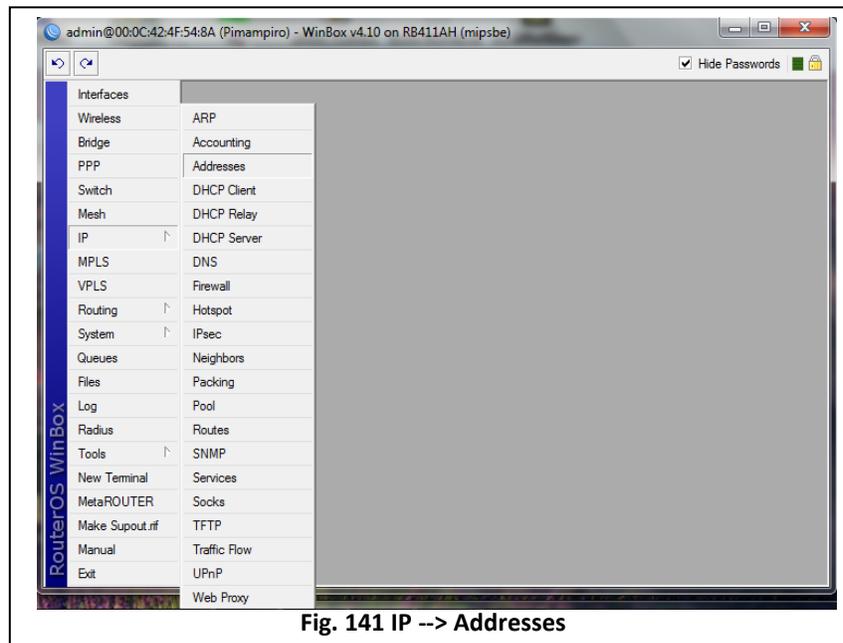
Definimos los parámetros en la interfaz Mesh y damos clic en OK y volvemos a la anterior interfaz.



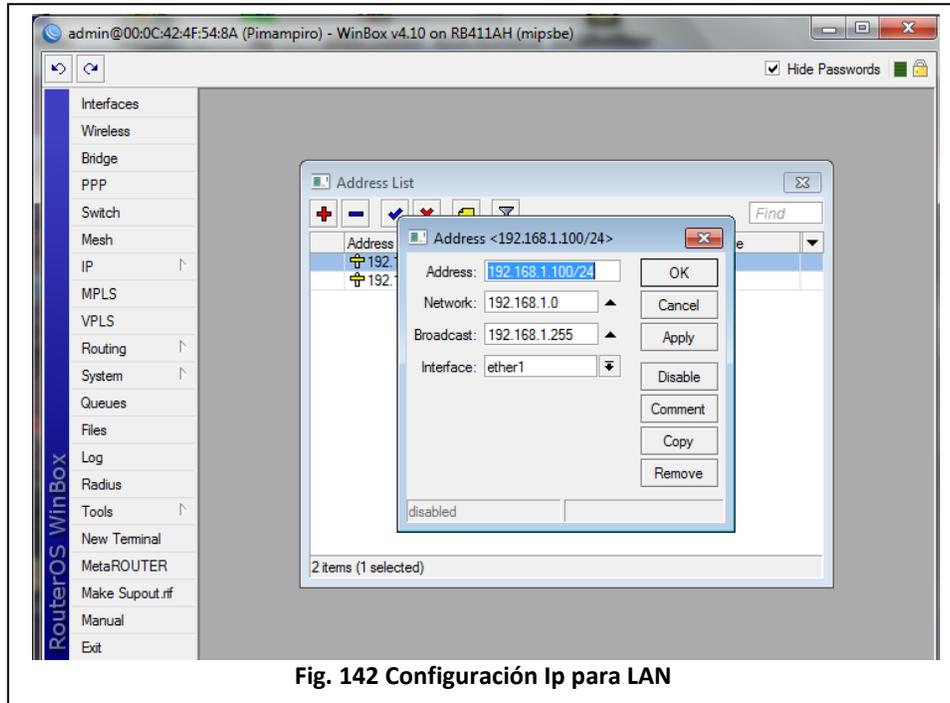
Luego de definir la interfaz mesh nos desplazamos hacia la pestaña Ports y agregamos las wlan y las WDS anteriormente creadas a la interfaz creada mesh.



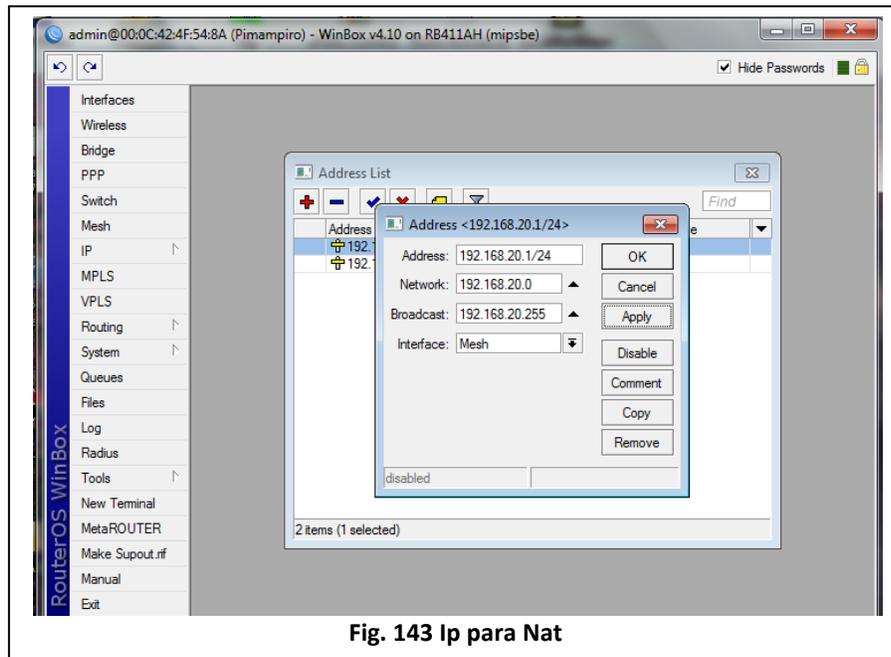
Para definir las Ips en el menú Ip escogemos Addresses



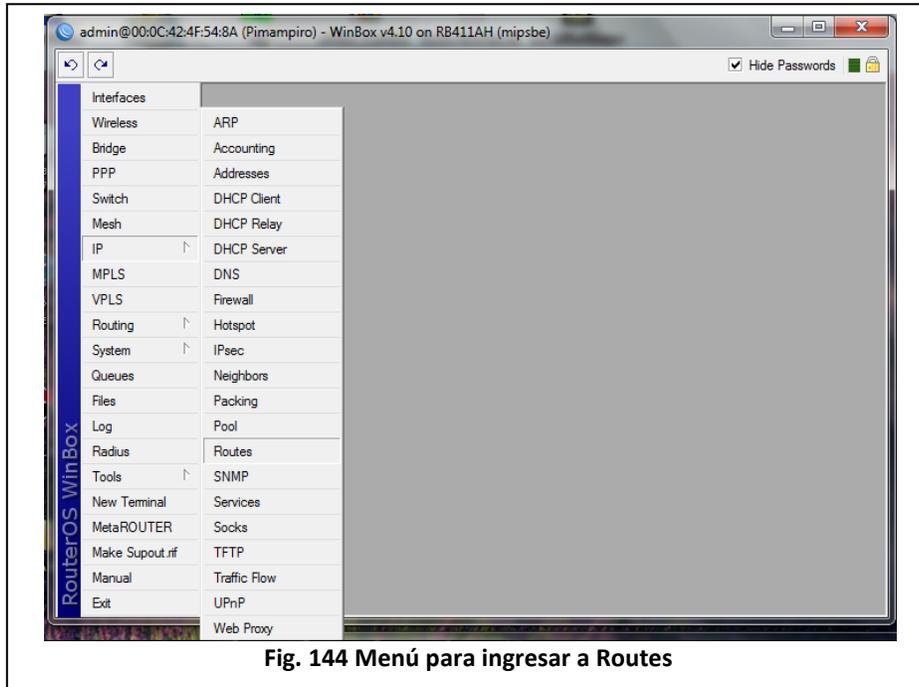
Para agregar una ip en el signo + damos clic y definimos dos tipos de Ips una ip para la red LAN.



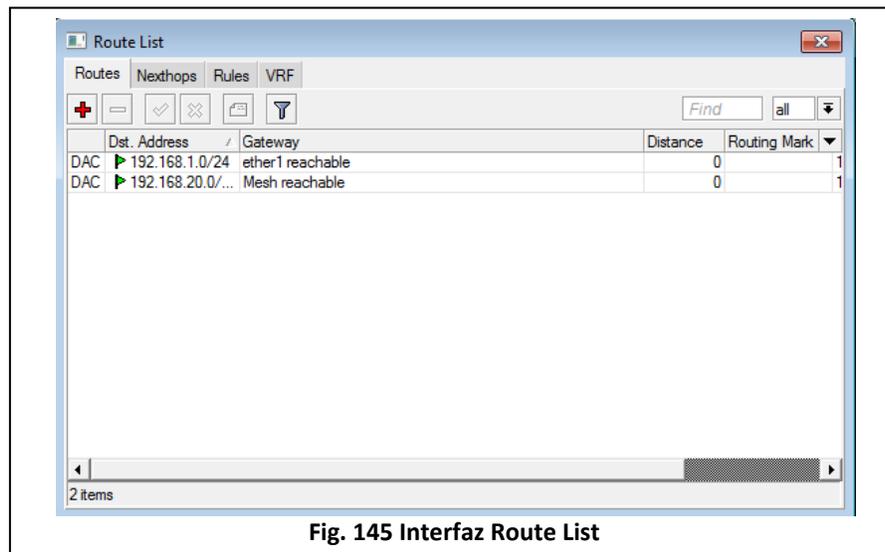
Agregamos otra Ip con la cual realizaremos el Nat



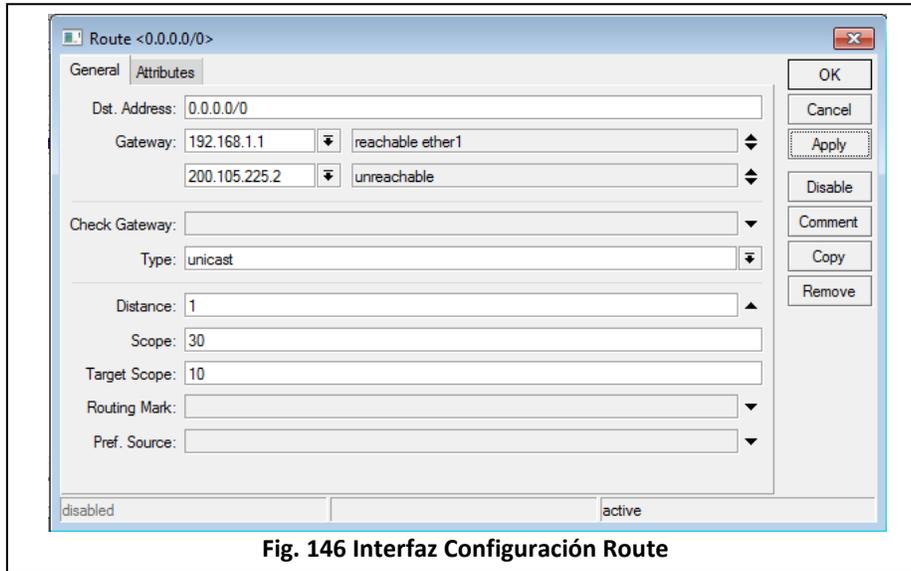
Agregaremos el Route para lo cual en el menú IP seleccionamos Routes



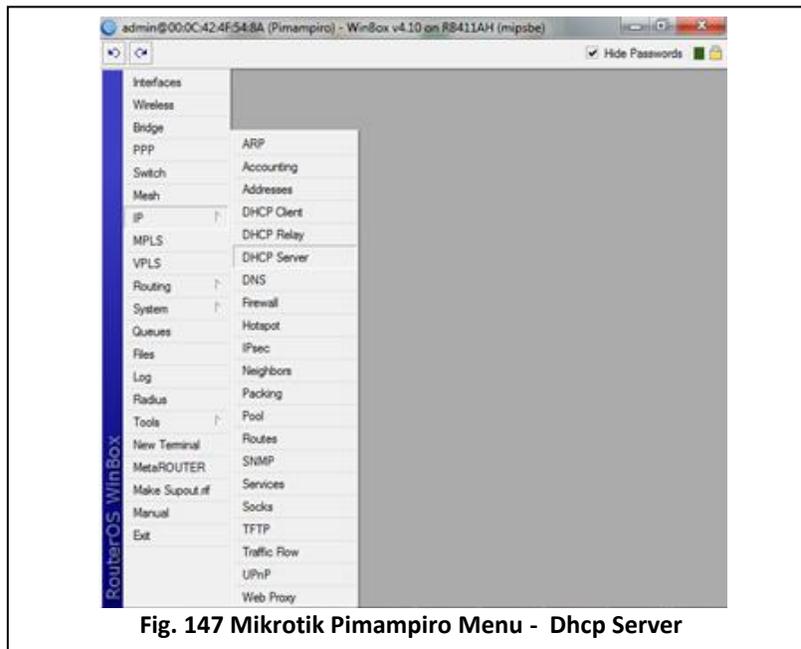
Nos presenta la siguiente interfaz en la cual visualizamos las Ips creadas anteriormente.



En el signo + damos clic y agregamos Route aquí definimos el Gateway tanto de la LAN como el DNS de nuestro proveedor.



Ahora configuraremos el DHCP para lo cual en el menú escogemos IP → DHCP Server



La interfaz sobre la cual se va hacer DHCP Server es a la interfaz Mesh

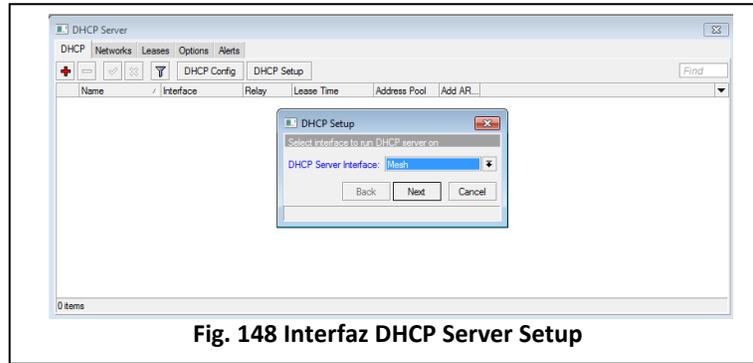


Fig. 148 Interfaz DHCP Server Setup

Colocamos la IP de la interfaz Mesh

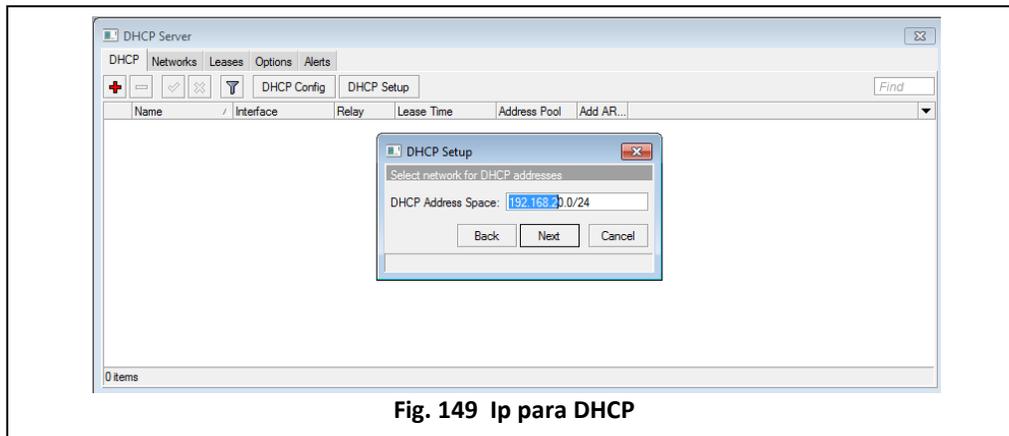


Fig. 149 Ip para DHCP

Colocamos el Gateway de la red Mesh

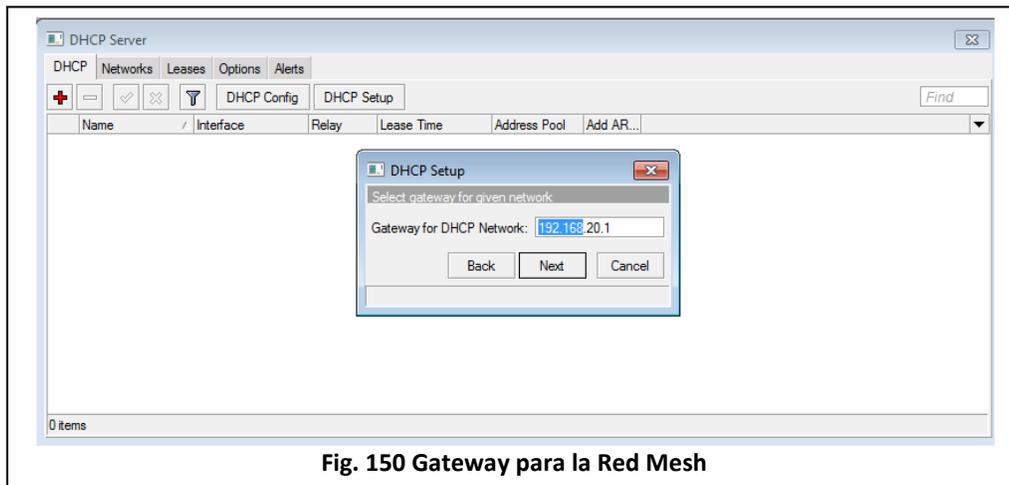


Fig. 150 Gateway para la Red Mesh

Con los valores ingresados en las anteriores interfaces se presenta la siguiente interfaz

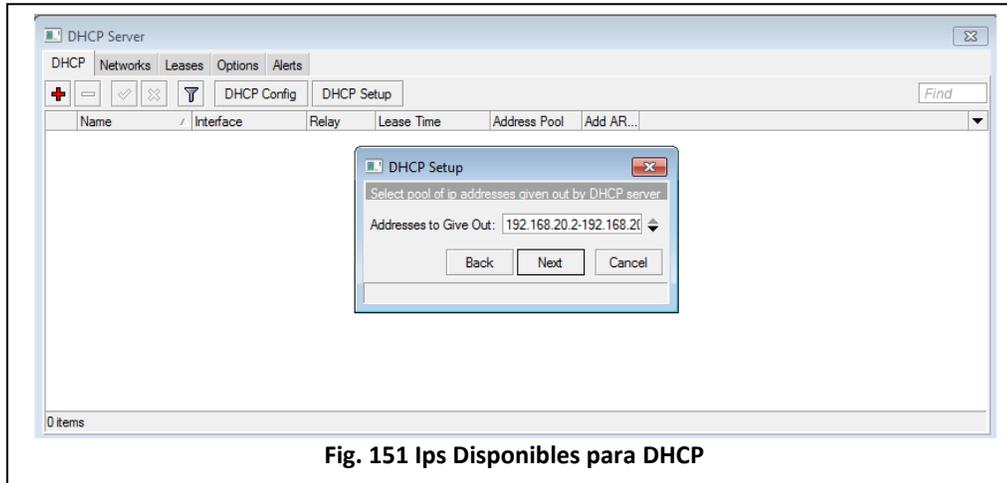


Fig. 151 Ips Disponibles para DHCP

Ingresamos el DNS server en este caso el de nuestro proveedor.

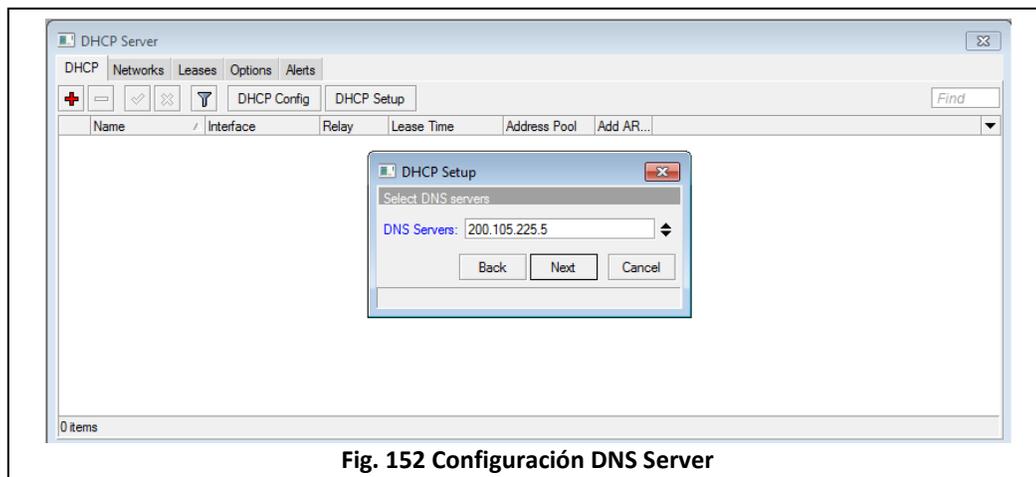


Fig. 152 Configuración DNS Server

Damos clic en siguiente

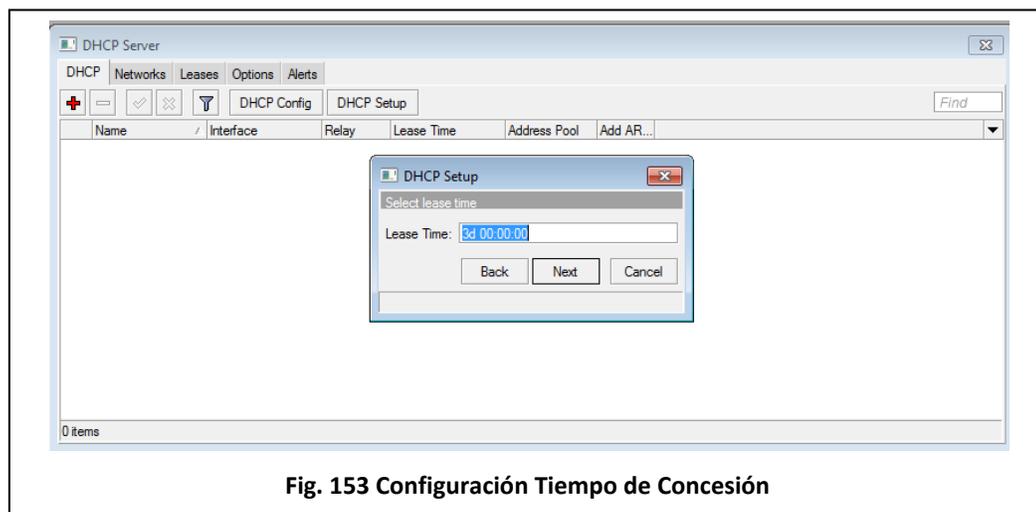
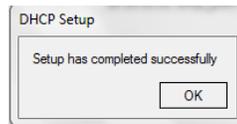


Fig. 153 Configuración Tiempo de Concesión

Al dar clic en siguiente nos saldrá un mensaje que nos indica que se ha instalado.



Agregamos los DNS en el menú IP → DNS

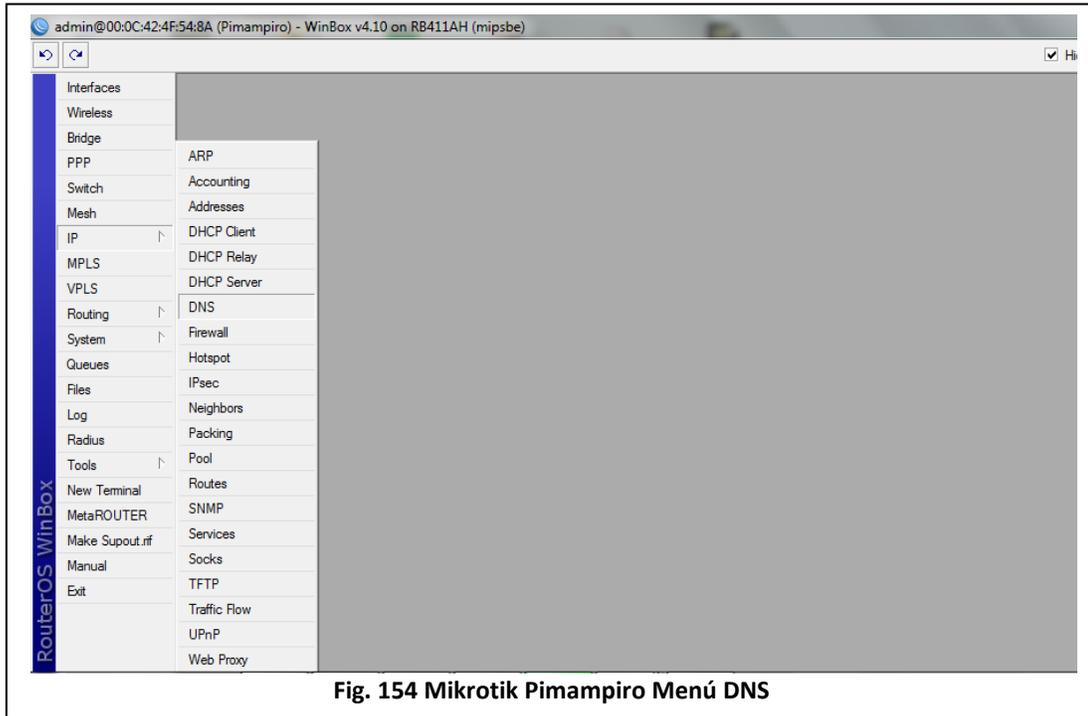


Fig. 154 Mikrotik Pimampiro Menú DNS

Nos presenta la siguiente ventana damos clic en + para agregar el DNS, en la interfaz agregamos los DNS Servers tanto de la LAN como de nuestro proveedor.

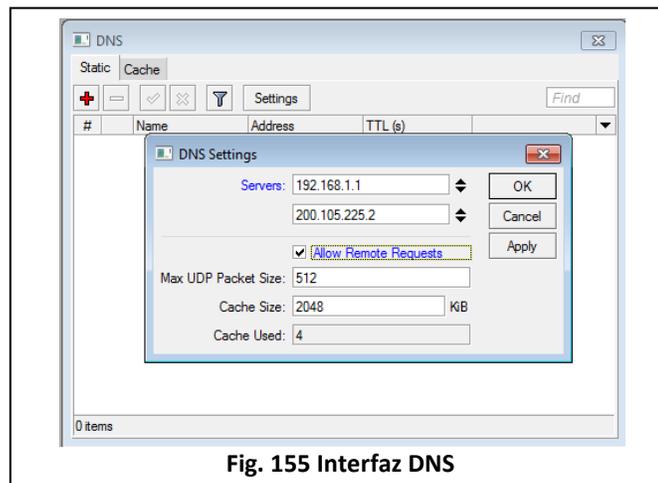


Fig. 155 Interfaz DNS

Configuraremos el firewall para lo cual en el menú IP → Firewall

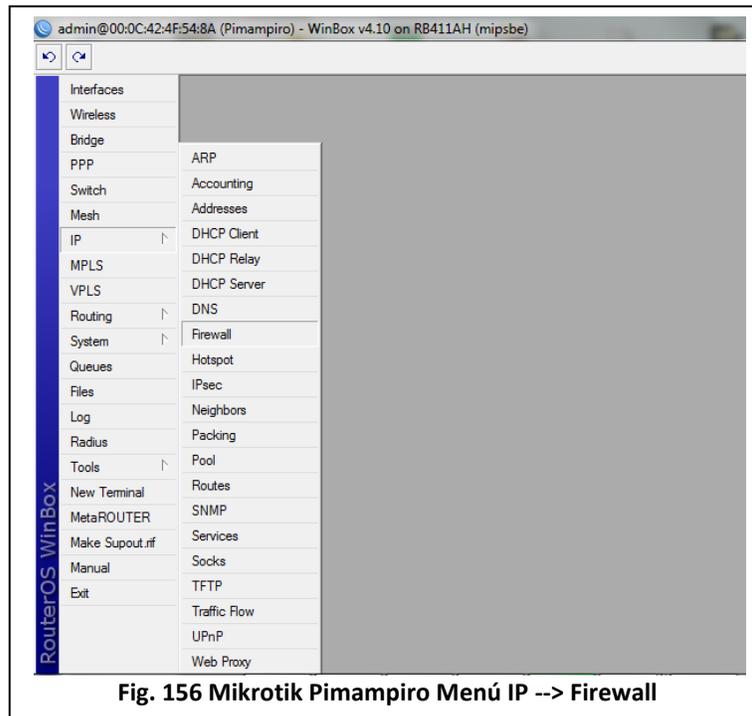


Fig. 156 Mikrotik Pimampiro Menú IP --> Firewall

Aquí configuraremos el NAT

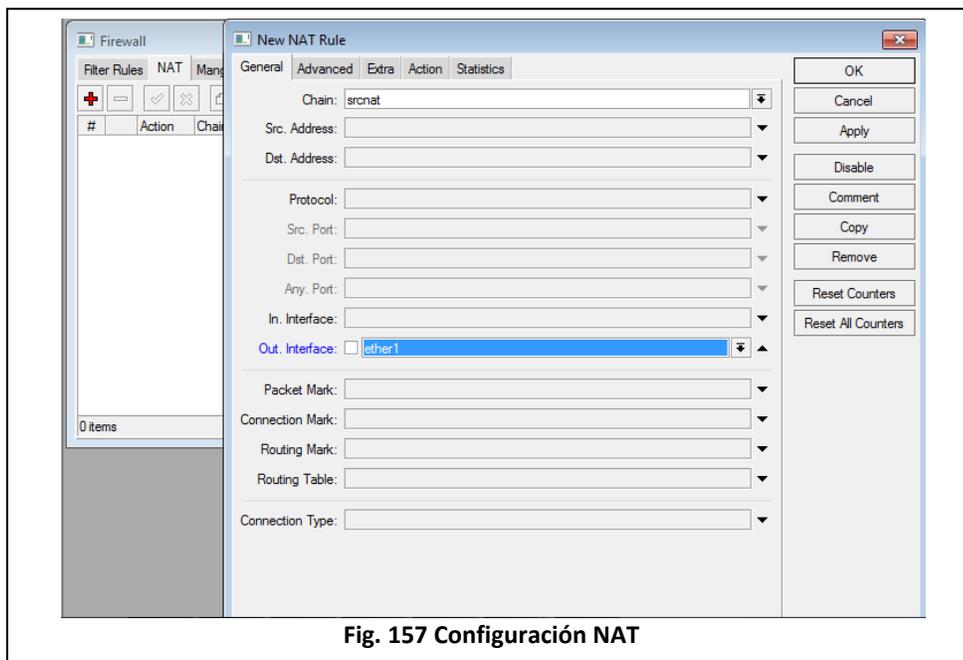


Fig. 157 Configuración NAT

Definimos la acción.

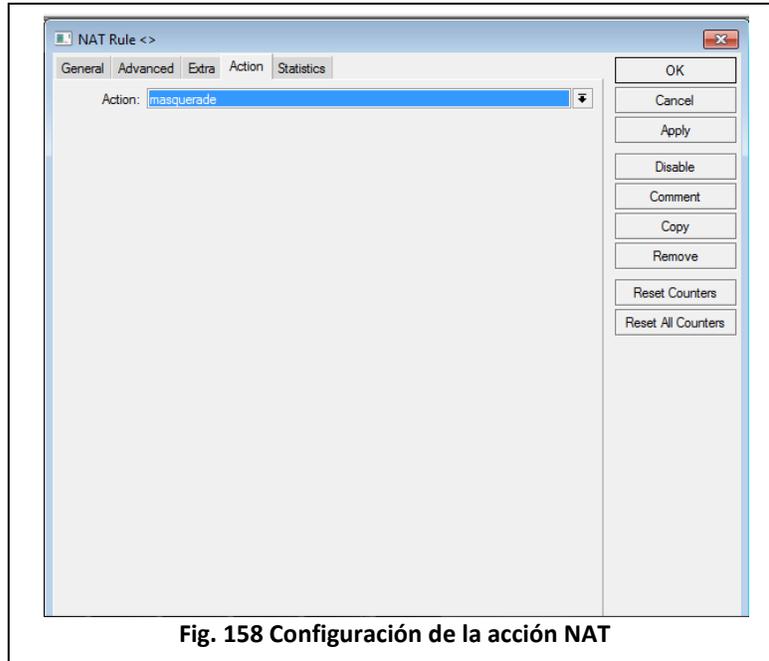


Fig. 158 Configuración de la acción NAT

Cuando se haya concluido con la configuración verificamos que en las conexiones de red inalámbrica nos muestra la red mesh configurada.

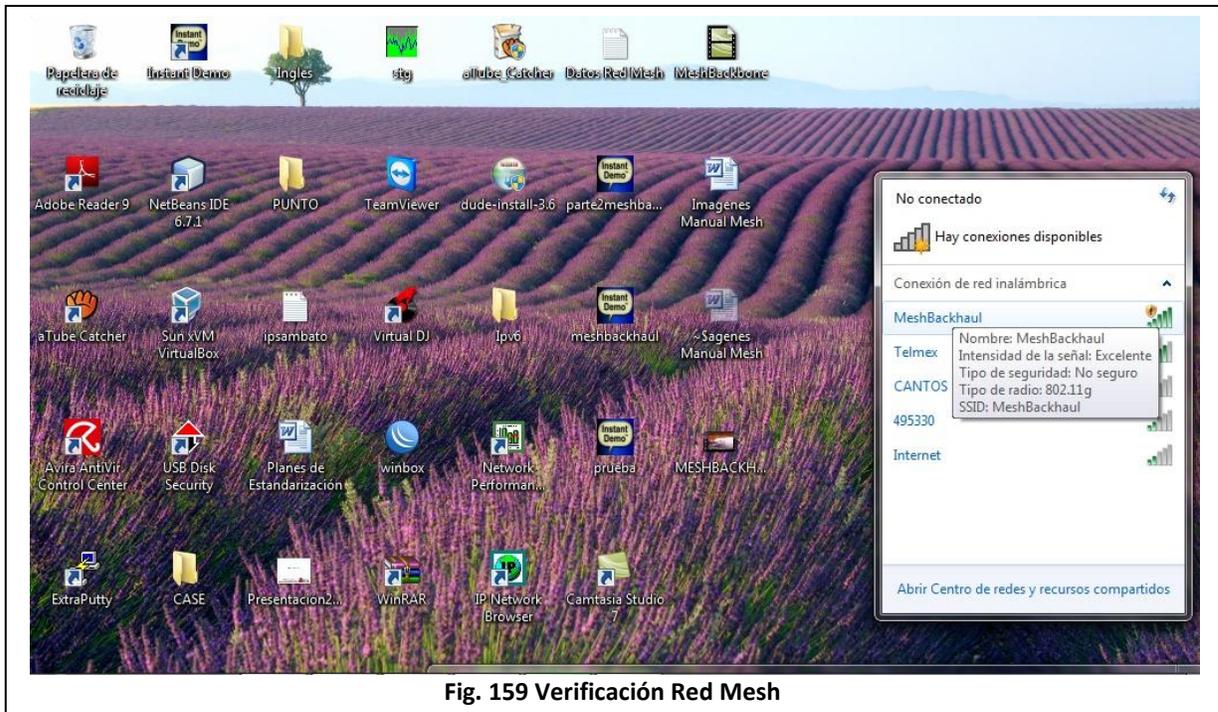


Fig. 159 Verificación Red Mesh

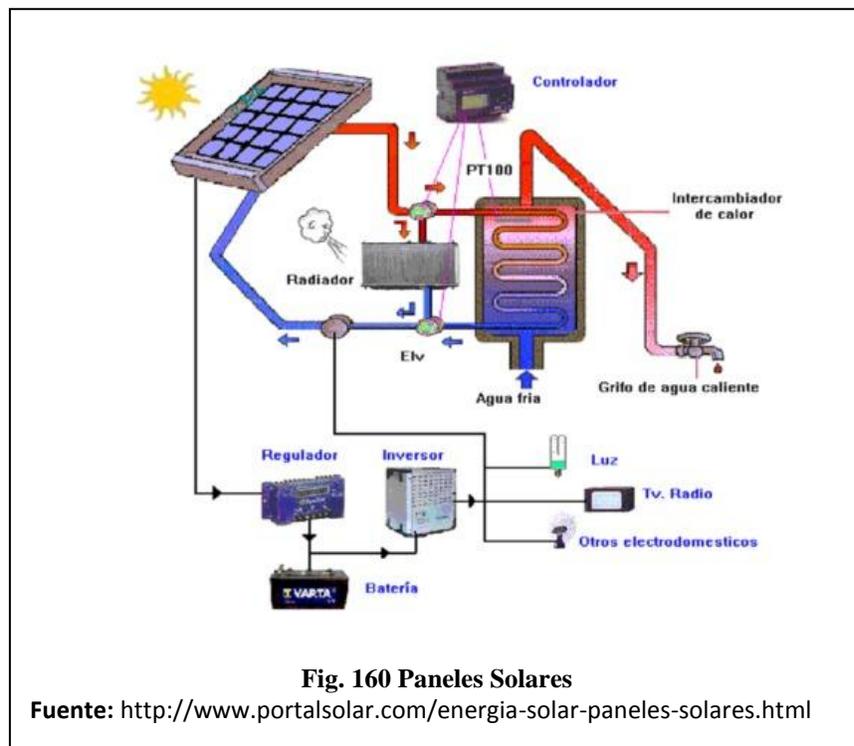
Al elegir la conexión Inalámbrica MeshBackhaul tendremos acceso a internet desde cualquiera de los puntos.

Paneles Solares

Un panel solar es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar. El término comprende a los colectores solares utilizados para producir agua caliente (usualmente doméstica) y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad.

Los paneles fotovoltaicos: están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los paneles fotovoltaicos, además de producir energía que puede alimentar una red eléctrica terrestre, pueden emplearse en vehículos eléctricos y barcos solares.



Costos:

De acuerdo a las cotizaciones realizadas en el mercado es posible determinar costos aproximados los cuales se visualizan en la siguiente tabla.

<p>KIT SOLIVENT 12V</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Panel fotovoltaico de 35W • 1 Regulador carga 12V / 8A • 1 Estructura para panel solar • 1 Acumulador Solar 140Ah/100h 	<p><i>Aplicaciones:</i></p> <p>Luz, establos, casetas de herramientas, etc.</p>	<p><i>Precio:</i></p> <p>Desde 870 €</p>
<p>KIT SOLIVENT 120</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 panel fotovoltaico de 130W • 1 Acumulador Solar 140Ah/100h • 1 Regulador carga 12V / 8A • 1 Convertidor Senoidal 600W • 1 Estructura para panel solar 	<p><i>Aplicaciones:</i></p> <p>Luz, televisión, pequeños electrodomésticos... hasta 600W de potencia.</p>	<p><i>Precio:</i></p> <p>Desde 1.749 €</p>
<p>KIT SOLIVENT 240</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 paneles fotovoltaicos de 130W • 6 Acumuladores Solares 540Ah/100h • 1 Regulador Digital 12V / 30A • 1 Convertidor Senoidal 600W • 2 Estructuras para panel solar 	<p><i>Aplicaciones:</i></p> <p>Luz, televisión, pequeños electrodomésticos... hasta 600W de potencia.</p>	<p><i>Precio:</i></p> <p>Desde 3.320 €</p>

Tabla 21 Costo Paneles Solares [61]

6.14 Análisis comparativo de equipos mesh

Para nuestro análisis comparativo se ha considerado dos puntos de valiosa importancia como son la perspectiva económica y técnica para con estos parámetros poder determinar cuáles serían los equipos más adecuados para el uso en el estudio de la red mesh.

6.14.1 Perspectiva Económica

Actualmente el mercado ofrece una infinidad de productos con los cuales se puede llegar a implementar una red mesh dentro de estos se han considerado para nuestro análisis las siguientes marcas: Mikrotik, Teletronics y Motorola.

La marca Mikrotik nos permite el poder personalizar las radios de acuerdo a nuestros requerimientos, es decir armar una radio con partes y piezas que consideremos necesarias para los puntos de nuestra red.

En la siguiente tabla se ha elaborado el presupuesto para los nodos que conforman el estudio de nuestra red mesh.

EQUIPOS MIKROTIK					
Nro.	Producto	Código	Valor Unit	Cant.	Valor Total
1.	RB433AH	RB/433AH	149	3	\$ 447
2.	Big outdoor case	CA/OTU	89	3	\$ 267
3.	R52Hn	R52Hn	59	9	\$ 531
4.	48v power supply	48POW	18	3	\$ 54
5.	MMCX pigtail	AC/MMCX	15	9	\$ 135
6.	Antena L-com	HG5158DP-32D	333,39	3	\$ 1.000
7.	Antena Hyperlink	HG2414HSP-090	569,35	12	\$ 6.832
8.	Splitter	4 in 1 out	44,6	3	\$ 134
9.	Cable Coaxial	Rg58 N Macho	25	15	\$ 375
Total					\$ 9.775

La marca Teletronics tiene un software propio que es basado bajo el kernel de Unix de igual forma que el Mikrotik basado en un kernel de Linux el inconveniente es que los equipos no se los puede personalizar y vienen bajo un chasis armado con dos interfaces inalámbricas de 2.4 y 5.8 los cuales no permiten el incrementar las interfaces inalámbricas.

En la siguiente tabla se presenta los costos que involucraría el utilizar equipos Teletronics para la red mesh que estamos estudiando.

EQUIPOS TELETRONICS					
Nro.	Producto	Código	Valor Unit	Cant.	Valor Total
1.	Ez-mesh	2.4-5 GHz.	800,00	3	\$ 2.400
2.	Antena Hyperlink	HG5158DP-32D	499,00	3	\$ 1.497
3.	Antena Hyperlink	HG2414HSP-090	569,35	12	\$ 6.832

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

4.	Splitter	4 in 1 out	44,60	3	\$ 134
5.	Cable Coaxial	Rg58 N Macho	25,00	15	\$ 375
Total					\$ 11.238

MOTOMESH Dúo de Motorola es una solución Mesh WiFi de alto rendimiento diseñada para cumplir con los más estrictos objetivos de costo-eficiencia por kilómetro cuadrado y retorno sobre la inversión.

En la siguiente tabla se presenta los costos que involucraría el utilizar equipos Motorola para la red mesh que estamos estudiando.

EQUIPOS MOTO MESH DUO					
Nro.	Producto	Código	Valor Unit	Cant.	Valor Total
1.	Moto Mesh Duo	2.4-5 GHz	2.718,00	3	\$ 8.154
2.	Antena Hyperlink	HG5158DP-32D	499,00	3	\$ 1.497
3.	Antena Hyperlink	HG2414HSP-090	569,35	12	\$ 6.832
4.	Splitter	4 in 1 out	44,60	3	\$ 134
5.	Cable Coaxial	Rg58 N Macho	25,00	15	\$ 375
Total					\$ 16.992

6.14.2 Perspectiva Técnica

La solución mesh para redes inalámbricas ha sido diseñada para brindar accesos de alta velocidad, flexibilidad y alcance, en nuestro estudio hemos escogido tres marcas que cumplen con estos requerimientos, Motorola con su solución moto mesh dúo, se ha diseñado para brindar a los proveedores de redes de acceso flexibles y cumpliendo con los objetivos que requieren los clientes como son entre ellos el uso de QoS (Calidad de Servicio), brindando excelentes características pero con costos sumamente elevados.

Teletronics brinda a los usuarios una red confiable, flexible y efectiva, cuenta con seguridades y también QoS, mantiene un costo promedio pero es cerrado en su hardware lo que no permite el personalizar de acuerdo a nuestros requerimientos por lo tanto pueden desperdiciarse recursos.

Mikrotik, de igual forma que los otros equipos permite un enlace en malla inalámbrica punto a punto o punto multi - punto detectando automáticamente sus nodos vecinos y su interconexión, ya que es basado bajo un Kernel de Linux(Free) es de alta compatibilidad con equipos inalámbricos wifi, puede establecer a la perfección conexión con nuevos nodos que accedan a su red mesh, en la parte de hardware nos permite personalizar las radios pudiendo incrementar o cambiar tarjetas de radio

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

frecuencia de 2.4 y 5 GHz logrando de esta manera dar flexibilidad a los requerimientos del cliente y a la vez disminuir los costos hacia el cliente.

En la siguiente tabla se presentan características importantes las cuales fueron una base para establecer el equipo más apropiado para la implementación de la Red Mesh.

Características	Moto Mesh Dúo	Ez Mesh	Mikrotik
Capacidad de interconexión dual	x	x	x
Seguridad WEP WAP	x	x	x
Red Confiable y Segura	x	x	x
Compatibilidad con otros equipos	x	x	x
Administración Web		x	x
Administración gráfica y remota	x		x
Configuración Vía Aérea	x		
Software de Administración Gratis			x
HotSpot			x
Tunneling L2TP PPPTP PPPOE			x
Administración de Ancho de Banda	x	x	x
Historial de tráfico por cliente			x
DHCP client/server			x
Planificación Automatizada del diseño de la Red	x		
Personalizar el equipo			x

Tabla 22 Características Equipos

En base a estas características y el costo que es fundamental para toda implementación de redes se determino que el equipo más apropiado es el Mikrotik ya que presenta costos bastantes accesibles.

Presupuesto

Para la implementación o ejecución de un proyecto el pilar fundamental es el aspecto económico, al ser un estudio para las zonas rurales de Pimampiro se convierte en un proyecto social y puede ser ejecutado por una entidad estatal.

La idea de este estudio es presentar un presupuesto que sirva de base para la operación de la red.

En la perspectiva económica se analiza los valores en cuanto a equipos tanto del Backbone Principal como del Backhaul, de esta forma se estableció un acercamiento a los valores reales para lo cual se definirá un presupuesto tomando en cuenta lo necesario para dicha implementación.

ESTIMACIÓN DE COSTOS

De acuerdo con el diseño realizado en este capítulo, la red WMNs se estructura de la siguiente forma:

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

La red Mesh consiste de 3 estaciones base o repetidoras, de las cuales todas las estaciones bases requieren de la instalación de torres. La red mesh distribuiría el servicio a tres parroquias rurales por lo que se hace necesario hacer una estimación de costos del proyecto dividiéndolo en varios grupos:

- Costos de Equipos
- Costos de Infraestructura
- Costos de Implementación
- Costos Totales estimados para la implementación de la red WMNs
- Costos de operación y mantenimiento

Costos de Equipos

En primer lugar vamos a determinar los costos de los equipos de acuerdo a los equipos ya elegidos y estableceremos el valor tanto para el Backbone con los tres puntos que los conforma y de la misma forma para el Backhaul.

Cada parroquia rural tiene por lo menos un punto de acceso al servicio, vamos a calcular el costo de los equipos para cada nodo.

PARROQUIA	Producto	Código	Valor Unit	Cant.	Valor Total
NODO PIMAMPIRO	RB433AH	RB/433AH	149	1	\$ 149
	Big outdoor case	CA/OTU	89	1	\$ 89
	R52Hn	R52Hn	59	3	\$ 177
	48v power supply	48POW	18	1	\$ 18
	MMCX pigtail	AC/MMCX	15	3	\$ 45
	Antena L-com	HG5158DP-32D	333,39	1	\$ 333
	Antena Hyperlink	HG2414HSP-090	569,35	4	\$ 2.277
	Splitter	4 in 1 out	44,6	1	\$ 45
	Cable Coaxial	Rg58 N Macho	25	5	\$ 125
Total Pimampiro					\$ 3.258
NODO CHUGÁ	RB433AH	RB/433AH	149	1	\$ 149
	Big outdoor case	CA/OTU	89	1	\$ 89
	R52Hn	R52Hn	59	3	\$ 177
	48v power supply	48POW	18	1	\$ 18
	MMCX pigtail	AC/MMCX	15	3	\$ 45
	Antena L-com	HG5158DP-32D	333,39	1	\$ 333
	Antena Hyperlink	HG2414HSP-090	569,35	4	\$ 2.277
	Splitter	4 in 1 out	44,6	1	\$ 45
	Cable Coaxial	Rg58 N Macho	25	5	\$ 125
Total Chugá					\$ 3.258

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

NODO MARIANO ACOSTA	RB433AH	RB/433AH	149	1	\$ 149
	Big outdoor case	CA/OTU	89	1	\$ 89
	R52Hn	R52Hn	59	3	\$ 177
	48v power supply	48POW	18	1	\$ 18
	MMCX pigtail	AC/MMCX	15	3	\$ 45
	Antena L-com	HG5158DP-32D	333,39	1	\$ 333
	Antena Hyperlink	HG2414HSP-090	569,35	4	\$ 2.277
	Splitter	4 in 1 out	44,6	1	\$ 45
	Cable Coaxial	Rg58 N Macho	25	5	\$ 125
Total Mariano Acosta					\$ 3.258
TOTAL EQUIPOS					\$ 9.775

El costo de equipos anteriormente analizados corresponde a los necesarios para la implementación del Backbone y Backhaul

La implementación de la red mesh se empezaría con lo disponible en la actualidad es decir dotar de servicio por medio de la red mesh primero a las juntas parroquiales e infocentros, por lo tanto nos evitamos costo de equipos de computación pero si es necesario un costo adicional el que representa el costo del Nanostation con el cual se dotaría el servicio y equipo actualmente tiene un costo de \$83; se requiere de un mástil con un costo aproximado de \$30 y adicional se necesita el cable con el cual se llegaría hacia el equipo.

Descripción	Cantidad	Valor Unit	Valor Total
Junta Parroquial Pimampiro	1	83	83
Junta Parroquial Chugá	1	83	83
Junta Parroquial Mariano Acosta	1	83	83
Infocentro	1	83	83
Colegios	15	83	1245
Cable	2	133	266
Mástil	19	30	570
TOTAL			2413

Costos de Infraestructura

Dentro de la infraestructura se considera los costos de torres, obras civiles, suministro de energía y protecciones, para la red, necesitaremos la construcción de obras civiles en todas ellas al igual que las torres, las torres tendrán una altura de 60 metros, esto debido a la gran cantidad de zonas irregulares existentes en las parroquias de Pimampiro.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

COSTOS DE INFRAESTRUCTURA				
Ítem	Descripción	Valor Unit	Cant.	Valor Total
Torre	Torre de base triangular	100	3	18000
Obra Civil	Movimiento de tierras, construcción de la cimentación y base para la torre con hormigón armado	1130	3	3400
Protecciones	Pararrayos con dispositivo de cebado. Marca: France Paratonnerres	580	3	1740
Regulador de Carga	Tristar-6 Tristar-60 12/24/48V 60A20 12/24/48V 60A2	220	3	660
Batería	ElectroE 5-2000 115ª-h3	160	3	480
Sistemas de Puesta a tierra	Coperweld o Electroodos activos PEM- 03	1100	3	3300
TOTAL INFRAESTRUCTURA				27580

Costos de Implementación

Los costos de implementación se refieren a costo de Mano de obra.

Mano de Obra

Los valores 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, además también la persona que realiza el mantenimiento de dicha red.

Considerando el lugar donde se ubicarían las torres y el grado de dificultad que el acceso a las mismas representa se ha estimado un costo promedio de \$900 y de la necesidad de mínimo dos técnicos, el tiempo estimado para la implementación sería de 6 meses

Ítem	Descripción	Valor Unit	Meses	Valor Total
2 Técnicos	Desarrollar Proyecto	1800	6	10800
2 Técnicos	Implementación	1000	6	6000
TOTAL MANO DE OBRA				16800

Costos Adicionales

Adicional a los costos ya analizados anteriormente hay que tomar en cuenta los equipos o elementos adicionales que el personal necesita para realizar su tarea de forma eficiente y se deben incluir en los costos generales.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

Dentro del equipo necesitamos el alquiler de un vehículo y debido a los lugares donde están ubicadas las torres es necesaria una camioneta 4 X 4, ya que es necesario para el desplazamiento tanto de equipos como del personal. Para determinar los costos que corresponden al transporte. Otro elemento necesario es un GPS para determinar o ubicar el punto donde tiene que realizar la tarea asignada.

COSTOS ADICIONALES			
Elemento	Valor Unit	Unidades	Valor Total
Transporte	200	8	1600
GPS	245	1	245
Herramientas e Imprevistos	300	1	300
TOTAL ADICIONALES			2145

Costos Totales para la implementación

Para calcular un costo total es necesario realizar una sumatoria de los costos anteriormente calculados

COSTOS TOTALES	
Descripción	Valor
Costo Equipos	12388
Infraestructura	27580
Mano de Obra	16800
Adicionales	2145
Varios	1000
TOTAL	59913

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.

El punto que nos dotará del servicio a Internet es Pimampiro ya que como analizamos en el capítulo anterior es hasta ese lugar que llega el servicio.

Actualmente Pimampiro cuenta con el servicio de CNT con un ancho de banda de 2Mbps el costo aproximado por el ancho de banda sería \$500 y como se analizo en este capítulo el Municipio deberá contratar el servicio de 3 Megas lo que representaría un costo aproximado de \$800 mensuales.

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

Descripción	Cantidad	Valor Unit	Valor Total	Valor Anual
Internet 3 Mbps	1	800	800	9600
TOTAL				9600

Necesitamos contratar personal que esté constantemente monitoreando la red y dando el respectivo soporte a los usuarios, para eso necesitamos 2 técnicos los cuales si existe algún problema se deberán desplazar al lugar y solventarlo, y un ingeniero.

Personal	Numero	Valor Unit	Valor Total	Valor Anual
Ingeniero	1	1000	1000	12000
Técnicos	2	500	1000	12000
Total			2000	24000

ANALISIS TIR - VAN

Para el cálculo comparativo en la presente investigación plantearemos un flujo de fondos en el tiempo, cuyos egresos e ingresos son valores que se obtendrían de la implementación de la red mesh; así también, la tasa de oportunidad.

Para el análisis partiremos desde el año cero en el cual se considera la inversión inicial es decir costo de equipos y los egresos que tengamos en el año 0, dentro de los costos tenemos el costo total lo que representa un valor aproximado de 59913.

Para el cálculo del flujo de caja se tiene dos grupos:

- ✓ Ingresos.- Se considera todos los valores que se recaudaría de este proyecto
- ✓ Egresos.- Consideramos todo lo que conlleva la implementación y mantenimiento del proyecto.

Ingresos			
Precio Internet	Usuarios	Instalación	Ingresos
10	20	0	2400
10	140	6000	22800
10	260	6000	37200
10	380	6000	51600
10	500	6000	66000
9	620	6000	72960
9	740	6000	85920
9	860	6000	98880

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

9	980	6000	111840
9	1100	6000	124800
8	1220	6000	123120
8	1340	6000	134640
8	1460	6000	146160
8	1580	6000	157680
8	1700	6000	169200
7	1820	6000	158880
7	1940	6000	168960
7	2060	6000	179040
7	2180	6000	189120
7	2300	6000	199200

Egresos				
Equipos	Internet	Mantenimiento	Operación	Egresos
	9600	24.000,00	3900	37.500,00
13719,6	9600	26.400,00	3900	53.619,60
13719,6	9600	29.040,00	3900	56.259,60
13719,6	9600	31.944,00	3900	59.163,60
13719,6	9600	35.138,40	3900	62.358,00
13719,6	10000	36.192,55	3900	63.812,15
13719,6	10000	37.278,33	4200	65.197,93
13719,6	10000	38.396,68	4200	66.316,28
13719,6	10000	39.548,58	4200	67.468,18
13719,6	10000	40.735,04	4200	68.654,64
13719,6	10400	41.957,09	4200	70.276,69
13719,6	10400	43.215,80	4500	71.835,40
13719,6	10400	44.512,27	4500	73.131,87
13719,6	10400	45.847,64	4500	74.467,24
13719,6	10400	47.223,07	4500	75.842,67
13719,6	10800	48.639,76	4500	77.659,36
13719,6	10800	50.098,96	4800	79.418,56
13719,6	10800	51.601,93	4800	80.921,53
13719,6	10800	53.149,98	4800	82.469,58
13719,6	10800	54.744,48	4800	84.064,08

Periodo	Flujo de Caja
0	(59.913,00)
1	(35.100,00)
2	(30.819,60)
3	(19.059,60)
4	(7.563,60)
5	3.642,00
6	9.147,85
7	20.722,07
8	32.563,72
9	44.371,82
10	56.145,36
11	52.843,31
12	62.804,60
13	73.028,13
14	83.212,76
15	93.357,33
16	81.220,64
17	89.541,44
18	98.118,47
19	106.650,42
20	115.135,92
TIR	24%
VAN	870051,042

Si analizamos el porcentaje obtenido en el TIR podemos determinar que la implementación y mantenimiento de este proyecto con lleva a un alto grado de rendimiento, de igual manera mediante el Van podemos establecer que es factible dicha implementación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El estudio de mercado juega un papel fundamental en el estudio y diseño de cualquier red, el cual permitió identificar las verdaderas necesidades de las zonas rurales de Pimampiro así como también determinar con que podemos contar para la implementación de la red.
- El estudio de la red mesh tiene como objetivo primordial, diseñar una red con la cual se de acceso a la información a las zonas rurales del cantón Pimampiro en la provincia de Imbabura. En primera instancia nuestro estudio pretende utilizar los recursos con los cuales cuenta, es decir cubrir juntas parroquiales e infocentros y poco a poco llegar a cada uno de los hogares.
- 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.
- Una de las características de las redes Mesh es que siempre esta activa pese a los problemas que pueda existir en uno de sus nodos. Es decir si uno de su nodos falla los clientes que se conectan a ese punto rápidamente buscan un nuevo camino evitando así la perdida de servicio.
- Se puede construir redes WMNs utilizando productos básicos que permiten trabajar con estándares gratuitos IEEE 802.11a y 802.11b/g. 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.
- Para la implementación de una red mesh, un factor fundamental es la zona de Fresnel la cual debe cumplir con un 60 o 70% de visibilidad es decir que no debe existir interferencias y si las hay no debe representar más de estos porcentajes.
- La facilidad en la implementación de una red mesh, y una gran capacidad de ancho de banda debido a la utilización de los estándares hace que este tipo de red sea una solución prometedora para el futuro de las redes inalámbricas.
- La disponibilidad de equipos existentes en el mercado ha permitido conocer las diferentes características que cada uno presenta y de esta forma determinar el más adecuado para la implementación de nuestra red.

- La calidad de servicio en el diseño de la red, permite a la red diferenciar entre varios flujos de tráfico, dándole prioridad a los datos y video sobre la voz, ya que los datos y el video no pueden soportar grandes pérdidas o retrasos en la transmisión. Mientras que la voz 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 transmisiones 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.
- El protocolo de enrutamiento, aplicado en el diseño es MME a diferencia de OLSR o de otro tipo "tradicional" de protocolo de enrutamiento dinámico, MME no mantiene la información de topología de red. Por lo tanto, MME no es capaz de calcular la tabla de enrutamiento, y no es necesario. Por el contrario, mantiene las pistas de paquetes recibidos y sus números de serie para decir cuántos paquetes se han perdido. De esta manera, las estadísticas de pérdida de mensajes para todas las combinaciones de los autores y los vecinos de un solo salto, MME es capaz de encontrar la mejor puerta de entrada a un destino en particular.
- La herramienta Radio Mobile 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, además brinda la posibilidad de trabajar con los datos reales de los equipos que se piensa utilizar en la red, etc. Todas estas características hacen que Radio Mobile sean una herramienta muy útil para el diseño de redes inalámbricas ya que es un software de libre distribución que trabaja en Windows y Linux.

Recomendaciones

- Se recomienda establecer algún software de administración de red con la finalidad de tener un control más riguroso, preferiblemente este software debería ser en sistema operativo Linux para eliminar los costos que se tendrían que pagar por concepto de licencias.
- Los accesos de los usuarios puede controlarse mediante hostpot es una manera de autorizar a los usuarios tener acceso a algunos recursos de red. Para conectarse, los usuarios pueden utilizar casi cualquier navegador Web (HTTP o el protocolo HTTPS), por lo que no es necesario instalar software adicional. La puerta de enlace es la contabilidad del tiempo de actividad y la cantidad de tráfico de cada uno de sus clientes han utilizado, y también puede enviar esta información a un servidor RADIUS. El sistema de HotSpot puede limitar el bitrate de cada usuario en particular, la cantidad total del tráfico, el tiempo de actividad y otros parámetros. El sistema de HotSpot está dirigido a proporcionar la autenticación dentro de una red local (para acceder a Internet), pero puede también ser utilizado para autorizar el acceso a las redes externas para acceder a recursos locales.
- 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, acceso remoto, políticas de contraseñas, etc. Necesarias para reducir en gran medida el ingreso no autorizado a la red de usuarios no deseados.
- Se recomienda realizar un monitoreo en la red para de esta forma llegar a establecer estadísticas de accesos y también consumo de ancho de banda y tener de una forma más clara el comportamiento de la red, y poder realizar modificaciones en el diseño antes que la red se implemente físicamente.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Campo eléctrico.** Es un campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas (la causa del flujo eléctrico) y se mide en Voltios por metro (V/m). El flujo decrece con la distancia a la fuente que provoca el campo.
- **Campo magnético.** Es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas (flujo de la electricidad).
- **La ionosfera** es la parte de la atmósfera terrestre ionizada permanentemente debido a la fotoionización que provoca la radiación solar. Se sitúa entre la mesósfera y la exósfera, y en promedio se extiende aproximadamente entre los 85 km y los 700 km de altitud.
- **La ley de Snell** es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto.
- **La radiación gamma o rayos gamma (γ)** es un tipo de radiación electromagnética, y por tanto formada por fotones, producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. Este tipo de radiación de tal magnitud también es producida en fenómenos astrofísicos de gran violencia.
- **La denominación rayos X** designa a una radiación electromagnética, invisible, capaz de atravesar cuerpos opacos y de imprimir las películas fotográficas.
- **La longitud de Planck (L_p)** es la distancia o escala de longitud por debajo de la cual se espera que el espacio deje de tener una geometría clásica. Una medida inferior previsiblemente no puede ser tratada adecuadamente en los modelos de física actuales debido a la aparición de efectos de gravedad cuántica.
- **UWB** es una tecnología en el rango de las PAN (personal area network). Permite paquetes de información muy grandes (480 Mbits/s) conseguidos en distancias cortas, de unos pocos metros. Los dispositivos wireless USB actuales son implementados con UWB.
- **Roentgen (símbolo R)** es una unidad de medida para radiación de ionización (por ejemplo Radiografía y rayos gama)
- **T1.** Es un estándar de entramado y señalización para transmisión digital de voz y datos
- **High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD)**, es una mejora al mecanismo de transmisión de datos de GSM o circuit-switched data (CSD). Fue aprobado por la ETSI en 1997 y fue desplegado por varios operadores de GSM en el mundo.

- **CATV.**- Televisión por cable
- **U-NII** Infraestructura de la información nacional sin licencia
- **FCC** Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América - organización del congreso. Aplica censura a medios como programas de radio o TV).
- **Delay Spread (Retrasar la propagación).**- Es un tipo de distorsión debido a múltiples resultantes de la salida de esparcimiento o de "manchas" de la señal recibida. Se produce cuando las señales idénticas llegan a través de diferentes caminos y con retrasos de tiempo diferentes.
- **El espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)**, también conocido en comunicaciones móviles como DS-SS (acceso múltiple por división de código en secuencia directa), es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan.
- **Roaming** se refiere a la capacidad de cambiar de un área de cobertura a otra sin interrupción en el servicio o pérdida en conectividad. Permite a los usuarios seguir utilizando sus servicios de red inalámbrica cuando viajan fuera de la zona geográfica en la que contrataron el servicio.
- **Protocolo 89:** En el campo de datos del protocolo IP bajo la designación protocolo, el número 89 equivale a OSPF.
- **TICs.**- Tecnologías de la información y comunicaciones
- **QoS.**- Calidad de Servicio
- **NAT (Network Address Translation - Traducción de Dirección de Red).**- es un mecanismo utilizado por routers IP para intercambiar paquetes entre dos redes que se asignan mutuamente direcciones incompatibles. Consiste en convertir en tiempo real las direcciones utilizadas en los paquetes transportados. También es necesario editar los paquetes para permitir la operación de protocolos que incluyen información de direcciones dentro de la conversación del protocolo.
- **G.711.**- también conocido como Pulse Code Modulation (PCM), es un códec muy utilizado de forma de onda. G.711 utiliza una frecuencia de muestreo de 8000 muestras por segundo, con la tolerancia 50 partes por millón (ppm). Cuantificación no uniforme (logarítmica) con 8 bits se utiliza para representar cada muestra, lo que resulta en un 64 kbits / s velocidad de bits.

REFERENCIAS

- [1] Wikipedia Artículo “**Radiación Electromagnética**”
http://es.wikipedia.org/wiki/Ondas_electromagn%C3%A9ticas.
- [2] Wiki libros Artículo:”**Física/Óptica/Polarización**”
<http://es.wikibooks.org/wiki/F%C3%ADsica/%C3%93ptica/Polarizaci%C3%B3n>
- [3] LU6ETJ Documento “**Propagación de las ondas de radio**”
<http://www.lu6etj.org.ar/-tecnicos/handbook/propagacion/propagacion.htm>
<http://www.educaplus.org/luz/polarizacion.html>
- [4] Instituto Politécnico Nacional Artículo “**Angulo de Brewster**”
<http://www.cedicyt.ipn.mx/brewster.htm>
- [5] Wikipedia Artículo “**Radiofrecuencia**” <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>
- [6] masadelante.com “**¿Qué es el ancho de banda? - Definición de ancho de banda**”
<http://www.masadelante.com/faqs/ancho-de-banda>
- [7] slideshare Presentación “**REDES WIRELESS**” Olga García Andrade E.U Ingeniería Técnica Informática de Oviedo <http://www.slideshare.net/wndysu/presentacion-redes-inalambricas-802-11b>
- [8] Netkom Long Range Wireless Network Artículo: “**Comprendiendo el concepto de Line of Sight en redes inalámbricas**” http://www.netkrom.com/es/about_line_of_sight.html
- [9] WAVE Wireless Networking. Artículo “**LÍNEA DE VISTA**”
<http://www.highwaytech.com.mx/lineavista.htm>
- [10] Wikipedia Artículo:”**Energía Electromagnética**”
http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_electromagn%C3%A9tica
- [11] **Stallings, William.** Comunicaciones y Redes de Computadoras. *Comunicaciones y Redes de Computadoras*. s.l. : Prentice Hall, 2000.
- [12] “**Implementación de una red WiFi**” Mayo 2002
<http://www.monografias.com/trabajos55/implementacion-red-wifi/implementacion-red-wifi.shtml>
- [13] “**Medios de Transmisión**”
<http://www.monografias.com/trabajos17/medios-de-transmision/medios-de-transmision.shtml>
- [14] “**Medios Guiados**”

- <http://docente.ucol.mx/al003306/Teleprocesos2/cable%20coaxial.htm>.
- [15] **REDES LA INSTALACION FISICA** (PRIMERA PARTE). McGraw-Hill, 2008.
 - [16] **LIBRE, CORPORACION UNIVERSIDAD**. *Medios No Confinados*. CALI-VALLE : s.n., 2004.
 - [17] **ciberhabit**. Ciudad de la informática. *Medios Guiados y No guiados*.
<http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/ciberhabitat/museo/cerquita/redes/medios/aire.htm>
 - [18] **Calsito, Edgardo Barria**. *Redes de Computadores Medios de Transmision y Hardware de Redes*. Manglares : s.n., 2006
 - [19] **Catalán Ruiz, Jacinto**. *Las Redes Transmision de Datos*. Barcelona : ISSN: 1699-4914, 2008
 - [20] **“Capítulo 4 Nivel Físico y Medios de Transmisión “**
<http://www ldc.usb.ve/~rgonzalez/telematica/Capitulo4.pdf> -
 - [21] TopBits.com Artículo: **“GSM”** <http://www.tech-faq.com/gsm.html>
 - [22] Universidad Técnica de Valencia GLOBALSTAR Artículo: **“CDMA”**
http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo3_99.00/GlobalStar8.htm
 - [23] **Albornoz, Jose**. <http://www.ing.ula.ve/~albornoz/mmds.html>.
 - [24] 2003, PROXIM CORPORATION, pág. 3
 - [25] **Modulacion por Multiportadoras tipo OFDM**. Universidad de Medellín. 2006, REVISTA INGENIERIAS, págs. 75-83
 - [26] **Performance Analysis with Enhanced Distributed**. 2010, Journal of Communication and Computer, pág. 2
 - [27] **Ghazizadeh, Reza, Fan, Pingzhi y Pan, Yi**. 2009, Revista Internacional de Comunicaciones, Redes y Sistemas de Ciencias (IJCNS)
 - [28] *SearchMobileComputing.com Definitions*. **“IEEE 802.11h”**, 08 de 2004.
<http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/80211h>
 - [29] IEEE Computer Society . Marzo-Abril de 2006 **“New 802.11h mechanisms can reduce power consumption”** http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1628914
 - [30] Winncom Technologies. 1998. Artículo: **“IEEE 802.11h Standard”**
<http://www.winncom.com/glossary/term/56/ieee-802.11h-standard.aspx>.
 - [31] *Javvin network management and security*. Artículo: **“ IEEE 802.11i: WLAN Security Standards”** <http://www.javvin.com/protocol80211i.html>.
 - [32] VIRUSPROT. Artículo: **“Estándares WIFI - 802.11e: QoS / Calidad de Servicio”**

- <http://www.virusprot.com/cursos/Redes-Inal%C3%A1mbricas-Curso-gratis17.htm>
- [33] Global Oneneses Artículo: " **IEEE 802.11k**"
http://www.experiencefestival.com/ieee_80211k
 - [34] *networkworld*. 01 de 09 de 2004. Artículo: "**802.11k ayuda a gestionar las redes El estándar IEEE 802.11k permite a los conmutadores y puntos de acceso inalámbricos calcular y valorar los recursos de radiofrecuencia de los clientes de una red WLAN, mejorando así su gestión**" http://www.networkworld.es/802.11k-ayuda-a-gestionar-las-redes_El-estandar-IE/seccion-/articulo-161097
 - [35] **IEEE. MAYOR CAPACIDAD Y RENDIMIENTO**. 2009
 - [36] "**IEEE 802.11p**" Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11p
 - [37] Universidad de la Rioja. Dialnet 2001-2010. Artículo: "**802.11p, estándar de comunicaciones inalámbricas (I)**"
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3024186>
 - [38] *NEOTEO*. Artículo: " 802.11r, el nuevo estándar Wi-Fi" 2008
<http://www.neoteo.com/802-11r-el-nuevo-estandar-wi-fi-5575.neo>
 - [39] *Wireless Setup*. Artículo: " **IEEE 802.11 Draft Amendments**"
<http://setup-wireless.blogspot.com/2008/11/ieee-80211-draft-amendments.html>
 - [40] IEEE Xplore DIGITAL LIBRARY DOCUMENTO "**IEEE 802.11V**", 2010
<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fstamp%2Fstamp.jsp%3Ftp%3D%26arnumber%3D5676668&authDecision=-203>
 - [41] ASDL FAQs Ayudas, Noticias y Mas Artículo: "**IEEE 802.11v, estándar WiFi ecológico**" **Publicado** 23 de Septiembre 2008 <http://www.adslfaqs.com.ar/ieee-80211v-estandar-wifi-ecologico/>
 - [42] blogtelecom Artículo: "**IEEE 802.11v, otro estándar WiFi más... esta vez ecológico**" **Publicado** 21 de Septiembre 2008 <http://www.blogtelecom.com/ieee-80211v-otro-estandar-wifi-mas-esta-vez-ecologico/>
 - [43] Codigounix. <http://www.codigounix.com.ar/?p=247>
 - [44] **Johann López, José M. Barceló, Jorge García-Vidal**. *VENTAJAS DE USAR SUBREDES EN UNA RED AD-HOC*. BARCELONA, ESPAÑA : s.n
 - [45] **Criado, Sebastián D**. *LUGRO MESH*. 11 de 08 de 2008. <http://www.lugro.org.ar/lugro-mesh>

- [46] *Open Mesh. "B.A.T.M.A.N"* <http://www.open-mesh.org>
- [47] *Simon Mudd's Website Artículo: "OSPF" - www.WL0.org*
<http://www.wl0.org/~sjmudd/wireless/network-structure/html/x284.html>
- [48] Cisco Documento: "**Información General OSPF**", 2002
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/tk480/tsd_technology_support_sub-protocol_home.html
- [49] **Rivera, Ing. Ricardo Ramírez.** *PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO.* COLOMBIA : SOLTICOM SOLUCIONES TECNOLOGICAS A LA MEDIDAD.
- [50] **Moy, Jhon T.** *OSPF Anatomy of an Internet Routing Protocol.* Indianapolis : ISBN 0-201-63472-4, 1998
- [51] SOFPEDIA Artículo: "**Simula los protocolos de red OSLR para redes móviles**"
<http://www.softpedia.com/es/programa-OLSR-daemon-31732.html>
- [52] IETF Documento: "**RFC 3626**", 2003
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- [53] *Mikrotik. Artículo: "Manual: MME wireless routing protocol"*
http://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:MME_wireless_routing_protocol.
- [54] **Labiod, Houda.** *Wireless ad hoc and sensor networks.* London : ISBN 978-1-84821-003-5, 2006.
- [55] P. Nicopolitidis. *Wireless Network.* Inglaterra : ISBN 0470 845295, 2003
- [56] Zhi Ning Chen, Maria-Gabriella Di Benedetto Hüseyin Arslan. *Ultra wideband wireless communication.* Canada : ISBN 0-471-71521-2, 2006
- [57] Pimampiro. <http://www.pimampiro.gov.ec/>
- [58] *CN Crece Negocios.com Artículo: "Concepto de Encuesta"*
<http://www.crecenegocios.com/concepto-de-encuesta/>
- [59] REGION VALLES Artículo: "Investigación de mercado en las PYMES"
http://www.regionvalles.com/index.php?option=com_content&task=view&id=3150&Itemid=29
- [60] **SSR, Grupo de Radio Comunicacion Departamente.** *Tutorial de Radio Mobile.* 2001
- [61] Paneles Solares Electrotécnia "**kit fotovoltaico**"
<http://www.electrotecnia.net/es/kits.asp>

Anexo A

La mayoría de los cables coaxiales tienen una impedancia característica de 50, 52, 75, o 93 Ω. La industria de RF usa nombres de tipo estándar para cables coaxiales. En las conexiones de televisión (por cable, satélite o antena), los cables RG-6 son los más comúnmente usados para el empleo en el hogar, y la mayoría de conexiones fuera de Europa es por conectores F.

Aquí mostramos unas tablas con las características:

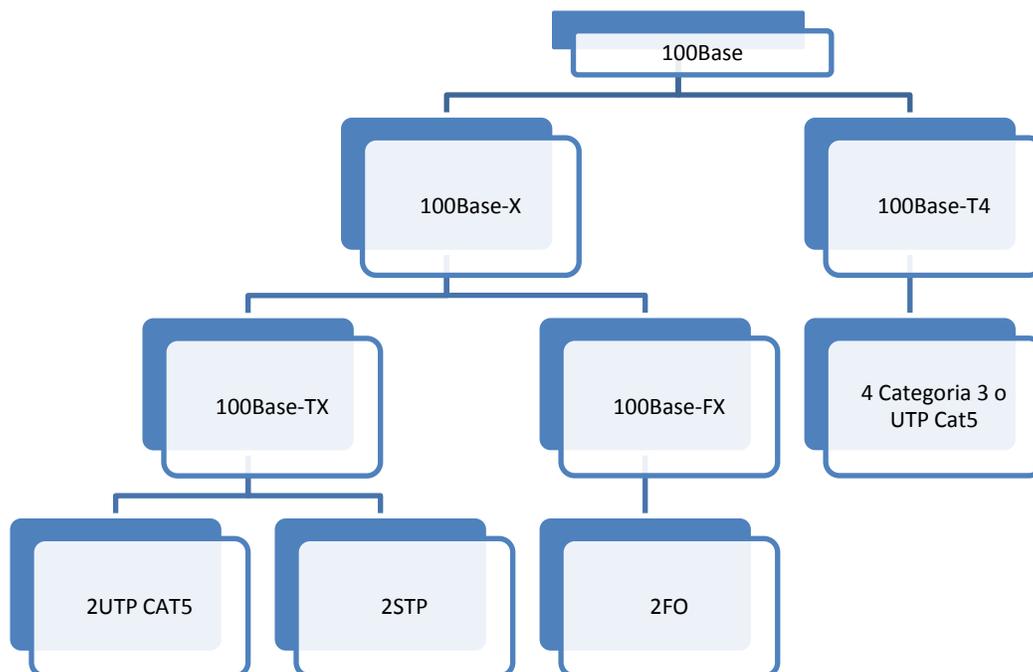
Tipo	Impedancia [Ω]	Núcleo	dieléctrico			Diámetro		Trenzado	Velocidad
			tipo	[in]	[mm]	[in]	[mm]		
RG-6/U	75	1.0 mm	Sólido PE	0.185	4.7	0.332	8.4	Doble	0.75
RG-6/UQ	75		Sólido PE			0.298	7.62		
RG-8/U	50	2.17 mm	Sólido PE	0.285	7.2	0.405	10.3		
RG-9/U	51		Sólido PE			0.420	10.7		
RG-11/U	75	1.63 mm	Sólido PE	0.285	7.2	0.412	10.5		0.66
RG-58	50	0.9 mm	Sólido PE	0.116	2.9	0.195	5.0	Simple	0.66
RG-59	75	0.81 mm	Sólido PE	0.146	3.7	0.242	6.1	Simple	0.66
RG-62/U	92		Sólido PE			0.242	6.1	Simple	0.84
RG-62A	93		ASP			0.242	6.1	Simple	
RG-174/U	50	0.48 mm	Sólido PE	0.100	2.5	0.100	2.55	Simple	
RG-178/U	50	7x0.1 mm Ag pltd Cu clad Steel	PTFE	0.033	0.84	0.071	1.8	Simple	0.69
RG-179/U	75	7x0.1 mm Ag pltd Cu	PTFE	0.063	1.6	0.098	2.5	Simple	0.67
RG-213/U	50	7x0.0296 en Cu	Sólido PE	0.285	7.2	0.405	10.3	Simple	0.66
RG-214/U	50	7x0.0296 en	PTFE	0.285	7.2	0.425	10.8	Doble	0.66
RG-218	50	0.195 en Cu	Sólido PE	0.660 (0.680?)	16.76 (17.27?)	0.870		22 Simple	0.66
RG-223	50	2.74mm	PE Foam	.285	7.24	.405	10.29	Doble	
RG-316/U	50	7x0.0067 in	PTFE	0.060	1.5	0.102	2.6	Simple	

Tabla 23 RG

Designaciones comerciales:

Tipo	Impedancia. [Ω]	núcleo	dieléctrico			diámetro		Trenzado	Velocidad
			tipo	[in]	[mm]	[in]	[mm]		
H155	50								0.79
H500	50								0.82
LMR-195	50								
LMR-200									
HDF-200 CFD-200	50	1.12 mm Cu	PF CF	0.116	2.95	0.195	4.95		0.83
LMR-400									
HDF-400 CFD-400	50	2.74 mm Cu y Al	PF CF	0.285	7.24	0.405	10.29		0.85
LMR-600	50	4.47 mm Cu y Al	PF	0.455	11.56	0.590	14.99		0.87
LMR-900	50	6.65 mm BC tubo	PF	0.680	17.27	0.870	22.10		0.87
LMR-1200	50	8.86 mm BC tubo	PF	0.920	23.37	1.200	30.48		0.88
LMR-1700	50	13.39 mm BC tubo	PF		1.350	34.29	1.670	42.42	0.89

Anexo B



Anexo C

Los identificadores de canales, frecuencias centrales, y dominios reguladores para cada canal usado por IEEE 802.11a:

Identificador de Canal	Frecuencia en MHz	Dominios Reguladores			
		América (-A)	EMEA (-E)	Israel (-I)	Japón (-J)
34	5170	—	—	—	—
36	5180	x	x	x	—
38	5190	—	—	—	—
40	5200	x	x	x	—
42	5210	—	—	—	—
44	5220	x	x	x	—
46	5230	—	—	—	—
48	5240	x	x	x	—
52	5260	x	—	—	x
56	5280	x	—	—	x
60	5300	x	—	—	x
64	5320	x	—	—	x
149	5745	—	—	—	—

ESTUDIO Y ANALISIS DE REDES MESH WIFI AUTONOMAS PARA ZONAS RURALES

153	5765	—	—	—	—
157	5785	—	—	—	—
161	5805	—	—	—	—

Tabla 24 Frecuencias IEEE 802.11a

Anexo D

IEEE 802.11 b e IEEE 802.11 g

Los identificadores de canales, frecuencias centrales, y dominios reguladores para cada canal usado por IEEE 802.11b e IEEE 802.11g:

Identificador de Canal	Frecuencia en MHz	Dominios Reguladores				
		América (-A)	EMEA (-E)	Israel (-I)	China (-C)	Japón (-J)
1	2412	x	x	—	x	x
2	2417	x	x	—	x	x
3	2422	x	x	x	x	x
4	2427	x	x	x	x	x
5	2432	x	x	x	x	x
6	2437	x	x	x	x	x
7	2442	x	x	x	x	x
8	2447	x	x	x	x	x
9	2452	x	x	x	x	x
10	2457	x	x	—	x	x
11	2462	x	x	—	x	x
12	2467	—	x	—	—	x
13	2472	—	x	—	—	x
14	2484	—	—	—	—	x

Tabla 25 Frecuencias IEEE 802.11b/g

Anexo E

PROYECTO PARA IMPLEMENTAR UNA RED MESH EN PIMAMPIRO

Por favor ayúdenos llenando la presente encuesta.

La información que nos proporcione será muy útil para poder determinar los requerimientos de internet, comunicación, pagos de servicios básicos a través de la web que tienen los habitantes de Pimampiro y sus alrededores.

1.- Edad

10 – 20

21 - 30

31 - 40

41 - +

2.- Parroquia a la que pertenece

Pimampiro

Mariano Acosta

Chugá

San Francisco de Sigsipamba

3.- Nivel de Educación

Primario

Secundario

Universitario

4.- Dispone de una computadora en su casa

Si Portátil Escritorio

No

5.- Cuenta con servicio de Internet

Si

No

6.- Si su respuesta es afirmativa por favor indique donde:

Domicilio

Trabajo

Cyber

Otro _____

7.- Dispone de teléfono:

Fijo

Celular

Los Dos

Ninguno

8.- Cuenta con Telefonía Móvil

Porta

Movistar

Allegro

9.- El acceso a internet es:

Poco Frecuente

Frecuente

Muy Frecuente

10.- Le gustaría estar informado sobre eventos o sucesos de su parroquia o comunidad

Si

No

11.- Para que utiliza el servicio de Internet

Música

Deberes

Juegos

Trabajos

Video Conferencias

Correo

Chat

Otros _____

12.- Cuanto pagaría por acceder al servicio de internet mensualmente

5

10

15

20

13.- Le agradecería realizar sus pagos de consumos (agua, luz, teléfono, etc.) desde su hogar

Si

No

Gracias por su colaboración.

Anexo F
EQUIPO MIKROTIK

RouterBOARD 433AH

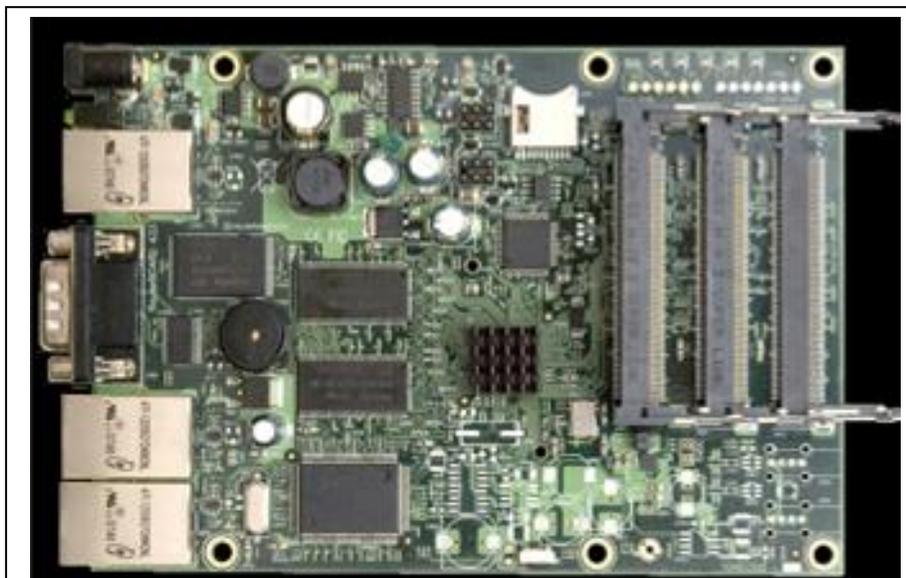


Fig. 161 RouterBoard 433AH

Fuente: http://routerboard.com/pricelist/download_file.php?file_id=73

El RB433AH es una versión más potente de la RB433 estándar. El DDR 128MB será capaz de soportar RouterOS nuevas características que vienen. La ranura para microSD compatible con una tarjeta de memoria adicional que puede ser utilizado para una base de datos Dude y otras características. El Atheros 680MHz CPU MIPS 24K con una instrucción 64KB/32KB / caché de datos es probablemente la más rápida CPU utilizada en los puntos de acceso inalámbrico de bajo coste. El Ethernet y tres ranuras MPCl darle amplia interfaces de datos para poner la potencia de la CPU gran trabajo.

CPU	Atheros AR7161 680MHz network processor
Memory	128MB DDR SDRAM onboard memory
Boot loader	RouterBOOT
Data storage	64MB onboard NAND memory chip and microSD
Ethernet	Three 10/100 Mbit/s Ethernet ports with Auto-MDI/X
miniPCl	Three MiniPCl Type IIIA/IIIB slots
Extras	Reset switch, Beeper

Serial port	One DB9 RS232C asynchronous serial port
LEDs	Power, NAND activity, 5 user LEDs
Power options	Power over Ethernet: 10..28V DC (except power over datalines). Power jack: 10.28V DC. Voltage monitor.
Dimensions	10.5 cm x 15 cm, 137 grams
Power consumption	~3W without extension cards, maximum - 25 W, 16W output to cards
Operating System	Mikrotik RouterOS v3, Level5 license

RouterBOARD R52Hn

802.11a/b/g/n dual band miniPCI card

RouterBOARD R52Hn adaptador de red miniPCI proporciona un rendimiento líder en ambos 802.11a/b/g/n 2 GHz y 5GHz bandas, que soporta hasta 300 Mbps de las tasas de los datos físicos y de hasta 200 Mbps de reales usuario rendimiento en el enlace ascendente y descendente. 802.11n en su dispositivo inalámbrico proporciona una mayor eficiencia de las actividades cotidianas, tales como la red local inalámbrica le transfiere, navegación por Internet y los medios de comunicación streaming. R52Hn tiene un transmisor de alta potencia, con lo que amplía aún más.

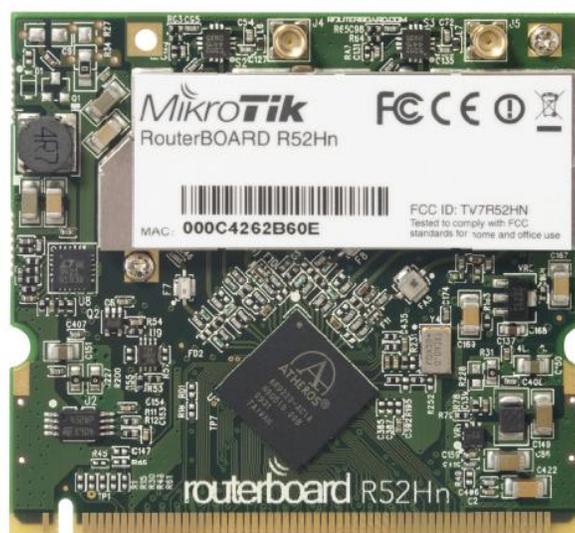


Fig. 162 Tarjeta R52hn

Fuente: http://routerboard.com/pricelist/download_file.php?file_id=202

Características

- Dual band IEEE 802.11a/b/g/n standard

- Output Power of up to 25dBm @ a/g/n Band
- Support for up to 2x2 MIMO with spatial multiplexing
- Four times the throughput of 802.11a/g
- Atheros AR9220, chipset
- High Performance (up to 300Mbps physical data rates and 200Mbps of actual user throughput) with Low Power Consumption
- 2 X MMCX Antenna Connector (J4 - Chain 0)
- Modulations:
OFDM: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM
DSSS: DBPSK, DQPSK, CCK
- Operating temperatures: -50°C to +60°C
- Idle power consumption 0.4W
- Max power consumption 7W
- MiniPCI IIIA+ design (3mm longer than MiniPCI IIIA)
- 1.5mm heatsink, 3mm RF shield thickness
- ±10KV ESD protection on RF ports

802.11a	RX Sensitivity	TX Power
6Mbit	-97	25
54Mbit	-80	21
802.11n 5GHz		
MCS0 20MHz	-97	24
MCS0 40MHz	-92	22
MCS7 20MHz	-77	18
MCS7 40MHz	-74	17

802.11b	RX Sensitivity	TX Power
1Mbit	-93	24
11Mbit	-93	24
802.11g		
6Mbit	-94	25
54Mbit	-81	22
802.11n 2.4GHz		
MCS0 20MHz	-94	25
MCS0 40MHz	-92	24
MCS7 20MHz	-78	21
MCS7 40MHz	-75	20

Datos de Velocidad

802.11b	
	11Mbps; 5.5Mbps; 2Mbps; 1Mbps
802.11a/g	
	54Mbps; 48Mbps; 36Mbps; 24Mbps; 18Mbps; 12Mbps; 9Mbps; 6Mbps
802.11n	
20MHz	1Nss: 65Mbps @ 800GI, 72.2Mbps @ 400GI (Max.) 2Nss: 130Mbps @ 800GI, 144.4Mbps @ 400GI (Max.)
40MHz	1Nss: 135Mbps @ 800GI, 150Mbps @ 400GI (Max.) 2Nss: 270Mbps @ 800GI, 300Mbps @ 400GI (Max.)