

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA RED INALAMBRICA PARA
LA PARROQUIA TARACOA-CANTON FRANCISCO DE
ORELLANA PARA PROVEER SERVICIOS DE TELEFONIA IP E
INTERNET”**

ANDREA CAROLINA FLORES RODRIGUEZ

Sangolquí – Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certificamos que el presente proyecto de grado titulado: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA RED INALAMBRICA PARA LA PARROQUIA TARACOA-CANTON FRANCISCO DE ORELLANA PARA PROVEER SERVICIOS DE TELEFONIA IP E INTERNET” ha sido desarrollado en su totalidad por la señorita Andrea Carolina Flores Rodríguez con C.I. 172194869-1, bajo nuestra dirección.

Atentamente,

Ing. Patricio Vizcaíno
DIRECTOR

Ing. Jorge Álvarez
CODIRECTOR

RESUMEN

El proyecto describe la solución que representa el uso de las redes inalámbricas malladas con características multi-radio multi-canal, y comunicación multi-salto de extremo a extremo, para minimizar los problemas de exclusión tecnológica que sufre la Parroquia Rural de Taracoa del Cantón Francisco de Orellana, que gracias a sus características de rápida y fácil configuración, despliegue, además de tener una alta confiabilidad reflejado con un tiempo fuera de servicio no mayor a los 10 segundos, y bajo costo en inversión, se convierte en una opción muy ventajosa con respecto a los costos de inversión que implica el uso de otras tecnologías como por ejemplo: WIMAX, XPON, etc.

El análisis del presente trabajo conlleva una encuesta tendiente a determinar variables como: situación inicial de servicios de telecomunicaciones, posibles usuarios potenciales y servicios de telecomunicaciones para las necesidades actuales y futuras. Se utilizaron herramientas informáticas como Radio Mobile para el estudio de propagación de la red de transporte y de acceso en las bandas de 2.4GHz y 5.8GHz, NCTUns para el análisis de tráfico de la red de transporte en la banda de 2.4GHz.

El análisis de factibilidad del presente trabajo se fundamenta en: la selección de criterios de diseño de la red (sitios estratégicos, accesibilidad de caminos, suministro energéticos, etc.), selección de equipos en base a los parámetros técnicos adecuados, y análisis económico de los equipos considerando costos de inversión de toda la infraestructura con su debido mantenimiento, además del estudio de periodos de recuperación de la inversión realizada.

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo, dedicación, y entrega para culminar con gran orgullo la carrera, un sueño que se hizo realidad con la ejecución del proyecto de tesis, se lo dedico con gran amor:

A Dios, por ser la Fé de cada paso que doy.

A mis padres, por la motivación que me brindaron en todos los momentos.

A mis ñañitos, por sus consejos y sugerencias que dieron fruto a un excelente proyecto.

A mi país Ecuador, por ser el objetivo principal de mi proyecto, trabajando para él una solución a los servicios de telecomunicaciones.

Carolina Flores R.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme formar parte de una gran familia, por todas las bendiciones, y la seguridad para lograr mis objetivos.

Mi gran agradecimiento a mis papitos María y Marco por darme la vida, por ser mis ejemplos de perseverancia, constancia y por el valor mostrado para salir adelante. Mi gratificación a ellos por todo su sacrificio, y por su infinito amor.

A la Flia. Flores Morales que han estado a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante, aun estando lejos.

A mi ñañito Buito, que con su sentido humorista, he podido sentir lo maravilloso que es desentonar un día gris con una sonrisa.

A mi ñañita Carlita, por ser mi mejor amiga desde el primer instante de mi vida, gracias por ser las manos que me ayudaron a trazar el camino, por el calor de tus brazos que me hacen sentir protegida y segura, por tus palabras que complementan mis ideas, y por ser mi melliza. Esto hace que seas un ser especial en mi vida, y tener la seguridad de contar contigo en las buenas y en las malas, aun así estando lejos.

Gracias por venir conmigo en esta vida y disfrutar de esta linda familia.

Agradezco a todas mis mascotas, por ser los seres vivos más fieles y humildes, que me brindaron momentos de paz en cada instante de dificultad.

A mis familiares, que son mi segundo hogar, y por su cariño incondicional.

A mis amigos por todas las penas y alegrías vividas juntas, gracias por su amistad.

A mis maestros Ing. Patricio Vizcaino por su gran apoyo, motivación, dirección y entrega para la elaboración de esta tesis; al Ing. Jorge Álvarez por su apoyo ofrecido en este trabajo; Y a cada uno de nuestros profesores por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A la Escuela Politécnica del Ejército y en especial a la Facultad de Electrónica en Telecomunicaciones por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para mi país Ecuador.

Carolina Flores R.

PRÓLOGO

La variedad de tecnologías de telecomunicaciones, representan sin duda múltiples soluciones para disminuir la brecha tecnológica en las zonas rurales, cuyos servicios son escasos, costosos, deficientes e inclusive nulos, especialmente en los sistemas de comunicación telefónica e internet. A esto se suma la dificultad del diseño de red, debido a las condiciones geográficas adversas, como la deficiente infraestructura vial, que imposibilita el proceso de conexión, además de las altas inversiones que no pueden asumir las economías rurales con tecnologías muy robustas.

El gran interés que actualmente tiene la aplicación de arquitecturas de redes malladas en las comunicaciones inalámbricas, conocidas como Wireless Mesh Network o WMN, reflejado en el crecimiento comercial con la variedad de fabricantes de productos WMN y la investigación con el surgimiento de grupos de estandarización IEEE 802.11s, que permitirá una mayor implantación de estas redes e interoperabilidad entre ellas, representa una alternativa viable para solucionar estos problemas de comunicación, gracias a su rapidez de despliegue, facilidad de instalación, flexibilidad, autoconfiguración, auto-reparación, escalabilidad, redundancia, bajo costos, etc, facilita el diseño y hace posible la factibilidad de una implementación en este tipo de sitios apartados, lo que permite el desarrollo social de la población.

Así, es como el presente proyecto se ha realizado con el fin de estudiar la factibilidad de construir una red inalámbrica mallada utilizando la tecnología WiFi, para proveer servicios de voz y datos en la parroquia rural Taracoa, sector que existe un gran déficit en la provisión de estos servicios.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
REDES INALÁMBRICAS DE LARGAS DISTANCIAS	1
1.1. Red inalámbrica.....	1
1.2. Familia 802.11 [2][3].....	1
1.3. Problemática del uso de uso de redes inalámbricas en largas distancias [1][4]	4
1.3.1. Capa física.....	4
1.3.2. Capa MAC	5
1.4. Topologías WLAN	6
1.5. Desvanecimiento[6].....	7
1.5.1. Disponibilidad y confiabilidad de propagación	10
1.5.2. Disponibilidad de equipos	12
1.5.3. Disponibilidad Total	13
CAPITULO II.....	14
REDES MALLADAS INALAMBRICAS	14
2.1. Evolución de WMN [10][11][12].....	14
2.2. Motivaciones para el uso de WMN MRMC [12][13]	16
2.3. Objetivos de asignación de canal.....	17
2.3.1. Minimización de interferencia	17
2.3.2. Maximización de throughput	17
2.3.3. Aumento de la diversidad de canal	18
2.3.4. Carga balanceada.....	18
2.3.5. Conservación de Topología.....	18
2.4. Arquitectura de red [12][14][15]	18
2.5. Distinguir WMNs de MANET y WSN [12].....	20
2.6. Interoperabilidad.....	21
2.7. Conectividad o interferencia [12][23]	22
2.7.1. Máxima conectividad en un escenario Single-radio Single-channel	23
2.7.2. Máxima conectividad en un escenario Multi-radio Multi-canal	23
2.7.3. Mínima interferencia en un escenario Multi-radio Multi-Canal	23
2.8. Pila de protocolos [15].....	24
2.8.1. Capa Física	24

2.9.2. Capa Mac [16]	25
2.9.2.1. Estructura de una trama WMN	26
2.9.2.2. Control de acceso al medio [14]	29
2.9.3. Capa de red [11][16][17].....	29
2.9.3.1. Basado en Topología.	30
2.9.3.2. Basados en Posición.....	31
2.9.4. Capa de transporte [16]	32
2.9.5. Capa de Aplicación	32
2.10. Seguridad en WMN [11][15][16]	32
CAPITULO III	35
SERVICIO DE VOZ EN REDES INALAMBRICAS.....	35
3.1. Evolución de la aplicación de voz en redes de telecomunicaciones.....	35
3.2. Importancia de QoS	36
3.3. Inconvenientes en la transmisión de voz sobre redes inalámbricas.....	37
3.4. Arquitectura [21]	38
3.5. Codecs en Asterisk [24].....	40
3.5.1. G.711 ulaw	40
3.5.2. G.711 alaw	40
3.5.3. G.723	40
3.5.4. G.726.....	41
3.5.5. G.729.....	41
3.5.6. GSM	41
3.5.7. iLBC.....	41
3.6. Desempeño de una red VoIP en WMN	42
CAPITULO IV	47
DISEÑO DE LA RED WMN.....	47
4.1. Justificación e importancia	47
4.2. Situación general	48
4.3. Parroquia Rural Taracoa.....	53
4.4. Estado actual de los servicios de telecomunicaciones en la Parroquia Taracoa.....	62
4.4.1. Encuesta	62
4.4.2. Análisis de resultados de la encuesta	63
4.5. Planificación de radios y topología de red.....	66

4.6.	Equipamiento de red.....	67
4.7.	Ajuste de parámetros de red	68
4.8.	Determinación de software para análisis de la red	71
4.8.1.	Radio mobile	71
4.8.2.	WMN en NS2.....	71
4.8.3.	NCTUns	72
4.9.	Análisis de rendimiento de una red mallada inalámbrica en NCTUns.....	72
4.10.	Esquema de Red con Radio Mobile.....	73
4.10.1.	Red Troncal	76
4.10.2.	Red de acceso	78
4.11.	Análisis de propagación.....	80
4.12.	Asignación de ancho de banda.....	83
4.12.1.	Primera Demanda Inicial.....	84
4.12.2.	Segunda Demanda Inicial.....	86
4.12.3.	Demanda total	90
4.13.	Análisis económico.....	94
CAPITULO V		100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		100
5.1.	Conclusiones.....	100
5.2.	Recomendaciones	101
REFEERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		103
ANEXOS		¡Error! Marcador no definido.
■	No	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE TABLAS

Tabla. 1. 1. Evolución de los estándares Wifi.	4
Tabla. 1. 2. Clasificación de los desvanecimientos.	9
Tabla. 3. 1. Parámetros y requisitos en VoIP	37
Tabla. 3. 2. Elementos de un sistema VoWLAN.....	39
Tabla. 3. 3. Número máximo de llamadas simultáneas a un AP en función de diferentes códecs, para determinar la calidad de VoIP en una red inalámbrica.	42
Tabla. 4.1. Información estadística, Ciencia y Tecnología, Provincia de Orellana a) Acceso a internet, b) uso de internet, c) Tenencia de computadora, d) Uso de computadora, e) tenencia de Tv, f) tenencia de línea telefónica.	51
Tabla. 4.2. a) Población por sexo y grupos de edad de la Parroquia rural de Taracoa, b) Listado de centros poblados de la Parroquia rural de Taracoa.	59
Tabla. 4.3. a) Población de 10 años y más, por condición de alfabetismo y sexo, b) Población de 5 años y más, por nivel de instrucción, años aprobados y sexo, c) Población de 5 a 18 años, por asistencia a establecimientos de enseñanza y sexo, d) Población de 5 años y más, por tipo de actividad.	61
Tabla. 4. 4. Valores de confianza	62
Tabla. 4. 5. Numero de encuestas a realizar.	63
Tabla. 4. 6. Especificaciones técnicas de los equipos de la Red.	69
Tabla. 4.7. Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha para las bandas de frecuencia 2400 – 2483.5 MHz y 5725 - 5850 MHz descritas en el ANEXO 1 de la RESOLUCIÓN 417-15-CONATEL-2005.....	70
Tabla. 4. 8. Parámetros de red ajustados a la normativa.	70
Tabla. 4. 9. Detalle en coordenadas geográficas de los puntos estratégicos	74
Tabla. 4. 10. Ubicación de los AP en la red.	78
Tabla. 4. 11. Parámetros de entrada: a) Características de entorno, b) Red Troncal, c) Red de acceso.....	81
Tabla. 4. 12. Características resultantes de los enlaces punto a punto principales (color negro) y secundarios (color azul) en la Red de Transporte.	82
Tabla. 4. 13. Estimación de ancho de banda necesario por aplicación.....	83
Tabla. 4. 14. Tasa de bits total consumido en servicio de internet.	85
Tabla. 4. 15. Capacidad total de la red representada por la tasa de bits consumida en internet y VoIP.	85
Tabla. 4. 16. Distribución de la población de la Parroquia Taracoa en grupos de edades entre los 10 a 24 años y género.....	86
Tabla. 4. 17. Estimación de la población en 2010.....	87
Tabla. 4. 18. Tasa de bits total consumido en servicio de internet.....	88
Tabla. 4. 19. Capacidad total de la red representada por la tasa de bits consumida en internet y VoIP.	89

Tabla. 4. 20. Tasa de bits total consumido en servicio de internet.....	91
Tabla. 4. 21. Capacidad total de la red representada por la tasa de bits consumida en internet y VoIP.	92
Tabla. 4. 22. Estimación del crecimiento de la demanda de servicios de internet y VoIP en 15 años.....	93
Tabla. 4. 23. Costo de los equipos.....	97
Tabla. 4. 24. a. Costo total de Instalacion y, b. Costo Total de mantenimiento anual	98
Tabla. 4. 25. Presupuesto de la Red.....	99

INDICE DE FIGURAS

Figura. 1. 1. a) Topología IBSS (Ad-hoc) y Topología Infraestructura BSS, b) Topología ESS.	7
Figura. 1. 2. Representación grafica del desvanecimiento.	8
Figura. 1. 3. Desvaneciemitno multitrayecto.	10
Figura. 2. 1. a) WLAN con backbone cableado, b) Escenario WMN Multiradio Multicanal (MRMC).	15
Figura. 2. 2. Arquitectura WMN	19
Figura. 2. 3. Representación de una Mesh BSS.	20
Figura. 2. 4. Conectividad entre diferentes redes 802.	22
Figura. 2. 5. Conectividad e interferencia; a) Escenario con un solo canal, b) Máxima conectividad e interferencia, c) Mínima conectividad y minima interferencia.	23
Figura. 2. 6. Pila de protocolos de IEEE 802.11s	24
Figura. 2. 7. El campo de control mesh de 802.11s es parte del cuerpo de la trama y proporciona hasta 2 campos más de direcciones.	27
Figura. 2. 8. Esquema 6-address.- cuando la AE flag=0, todos los campos tienen su existencia, mientras que los campos Address 5, y 6 no. Esto garantiza compatibilidad con hardware y/o firmware existentes.	28
Figura. 2. 9. Clasificacion de los protocolos de enrutameiento en WMN.	30
Figura. 2. 10. Esquema de seguridad en 802.11s	34
Figura. 3. 1. Arquitectura de una red VoWLAN.	39
Figura. 3. 2. Parámetros de QoS para llamadas VoIP en una red inalámbrica con múltiples saltos.: a) Retardo, b) Jitter, c) Paquetes perdidos.	45
Figura. 3. 3. Parámetros de QoS para llamadas VoIP en una red inalámbrica con llamadas simultáneas a un solo nodo: a) Throughput recibido, b) retardo, d) jitter, e) paquetes perdidos.	46
Figura. 4. 1. Mapa político de la Provincia de Orellana.	48
Figura. 4. 2. Gráficas comparativas del uso de los servicios de telecomunicaciones entre el sector urbano y rural de la Provincia de Orellana a) Acceso a internet, b) uso de internet, c) Tenencia de computadora, d) Uso de computadora, e) tenencia de Tv, f) tenencia de línea telefónica.	52
Figura. 4. 3. Comparación entre servicios de telecomunicaciones para la provincia de Orellana	53
Figura. 4. 4. Parte del Mapa del cantón Francisco de Orellana; a la izquierda se encuentra la ciudad de El Coca y a la derecha Taracoa.	54
Figura. 4. 5. a) Mapa geográfico de Taracoa, b) Centro poblado de Taracoa	56
Figura. 4. 6. Condiciones de vida del poblado de Taracoa.	57

Figura. 4. 7. Resultados de la encuesta, a) Tenencia de Servicios de Telecomunicaciones, b) Tenencia de computador, c) Localización de un centro de computo, d) Visista al centro de computo, e) Utilizacion, f) Servicios más usados, g) Conocimiento de VoIP, h) Disponibilidad en la implementación de nuevos servicios.....	66
Figura. 4. 8. Esquema de red.	68
Figura. 4. 9. a) Rendimiento de la red de acceso, b) Rendimiento de la red de transporte en función del número de saltos.	73
Figura. 4. 10. Esquema general de la red	75
Figura. 4. 11. Representacion de la red troncal	77
Figura. 4. 12. Red de acceso: a) demanda inicial, b) demanda total.	79
Figura. 4.13. Tasa de bis consumido respecto al número de usuarios potenciales entre 1 a 15 años del funcionamiento de la red.....	93

GLOSARIO

- **16QAM.-** Quadrature Amplitude Modulation. Modulación por amplitud de cuadratura
- **ADSL.-** Significa DSL asimétrico, lo cual implica que la velocidad de subida es diferente a la velocidad de bajada.
- **BPSK.-** Binary Phase Shift Keying. Modulación por Desplazamiento de Fase.
- **CCK.-** Complementary Code Keying
- **CNT.-** Corporacion Nacional de Telecomunicaciones.
- **DSL.-** Digital Subscriber line o línea Digital de abonado, es una tecnología para acceder a internet a altas velocidades, sin consumo telefónico ni necesidad de bloquear la línea telefónica.
- **DSSS.-** Direct Sequence Spread Spectrum
- **IEEE.-** Institute of Electrical and Electronics Engineers
- **IGM.-** instituto geográfico militar
- **INEC.-** instituto nacional de estadística y censo.
- **MANET.-** mobile adhoc network
- **MRMC.-** multi radio multi channel
- **OFDM.-** Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- **POC.-** partially overlapped channels
- **QoS.-** Quality of Service. Calidad de Servicio.
- **QPSK.-** Quadrature Phase Shift Keying. Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura.
- **Roaming.-** capacidad de un dispositivo de moverse desde una zona de cobertura hacia otra, sin pérdida de la conectividad.
- **WDS** wireless distribution system
- **WMN** wireless mesh network
- **WSN** wireless sensor network

CAPITULO I

REDES INALÁMBRICAS DE LARGAS DISTANCIAS

1.1.Red inalámbrica

En un inicio las redes de telecomunicaciones fueron montadas netamente sobre medios guiados, y con el surgimiento de medios inalámbricos, se obtiene redes que abarcan mayor cobertura, y aun mejor trabajando con una combinación de ambas se obtiene una red híbrida resolviendo los últimos metros hacia la estación. Es por eso que no se espera que las redes inalámbricas lleguen a remplazar a las redes cableadas.

Desde el 2001, una de las tecnologías que se ha tomado en consideración muy seriamente para las comunicaciones de largas distancias es la IEEE802.11, popularmente llamada WiFi; si bien este estándar no se concibió para redes extensas, sus indudables ventajas de costo, uso de frecuencias no licenciadas y gran ancho de banda, han despertado el interés de diversos agentes tecnológicos de países en desarrollo. Incluso en los núcleos urbanos de muchos países se han dado experiencias de aplicación de WiFi para distribuir el acceso a Internet con la mayor cobertura posible en exteriores. Además, el enorme éxito de WiFi en todos los ámbitos ha dado lugar a una gran cantidad de productos en el mercado, casi todos ellos de bajo consumo, a precios bajos y mucha flexibilidad de uso, especialmente en combinación con desarrollos de software abierto.[1]

1.2.Familia 802.11 [2][3]

El estándar original se conoce como IEEE 802.11 legacy o IEEE 802.11-1997, versión revisada en 1999 (IEEE 802.11-1999). En ese mismo año, IEEE definió dos extensiones de mayor velocidad: 802.11b en la banda de 2.4Ghz con tasas de hasta 11

Mbps mediante el uso de la modulación CCK¹, basada en la tecnología DSSS² y 802.11 a en la banda U-NII³ de 5Ghz con tasas de hasta 54Mbps, basadas en OFDM⁴. En 2003 se especificó la extensión 802.11g que mejoraba las tasas de 802.11b llegando hasta 54Mbps, gracias a la adopción de OFDM (al igual que 802.11 a) en la banda de 2.4Ghz. Más tarde, en 2007, se aprobó el agrupamiento de muchas de estas correcciones con la versión de 1999 del estándar, creándose así el estándar IEEE 802.11-2007. En concreto, las correcciones incluidas fueron 802.11 a, b, d, e, g, h, i y j.

En el 2009 se definió la modificación del estándar 802.11n con el objetivo de mejorar las velocidades alcanzadas por el estándar IEEE 802.11-2007. Este nuevo estándar propone, entre otras mejoras, la inclusión de múltiples antenas tanto en emisión como en recepción, antenas MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output), y el aumento del ancho de banda de los canales de 20 a 40Mhz. Utilizando antenas MIMO 4x4:4 (4 antenas transmisoras, 4 antenas receptoras y 4 flujos de datos) con canales de 40Mhz se pueden alcanzar tasas físicas de hasta 600Mbps.

Respecto a la capa MAC, 802.11e (2005) fue el primer estándar complementario para mejorar el soporte de calidad de servicio de las redes IEEE 802.11. Otro conjunto de estándares están relacionados con la transición entre puntos de acceso pertenecientes a una misma WLAN. 802.11F define un protocolo entre puntos de acceso para permitir el tránsito de estaciones entre puntos de acceso de diferentes fabricantes. Este estándar fue aprobado en 2003 pero fue retirado en 2006, quedando como prácticas recomendadas (de ahí que se escriba su letra en mayúscula). Otros estándares sobre la transición entre puntos de acceso son 802.11k (2008) y 802.11r (2008). El primero es una corrección al estándar 802.11-2007 para la gestión de recursos radio (RRM, Radio Resource Management), permitiendo distribuir el tráfico entre puntos de acceso de forma inteligente (anteriormente las estaciones escogían el punto de acceso basándose exclusivamente en su SNR (Relación Señal-Ruido)). El segundo, permite aumentar la velocidad en las transiciones entre puntos de acceso gracias a la eliminación de algunas etapas (derivación de claves PTK (pairwise transient key) y control de admisión para QoS) y a un mecanismo de pre-reserva antes de la transición.

¹ Complementary Code Keying

² Direct Sequence Spread Spectrum

³ Unlicensed National Information Infrastructure

⁴ multiplexación por división en frecuencias ortogonales u Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Respecto a la seguridad, 802.11i mejora los mecanismos de seguridad y autenticación para la capa MAC de 802.11, reemplazando el esquema de seguridad original (WEP, Wired Equivalent Privacy) por los protocolos WPA (Wi-Fi Protected Access, implementación de un subconjunto de funcionalidades de 802.11i) y WPA2 (Implementación completa de 802.11i). Un resumen detallado de la evolución de los estándares Wifi, se muestra en la siguiente [Tabla. 1.1.](#)

ESTÁNDAR O CORRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
IEEE 802.11	El estándar WLAN original con tasas físicas de 1 y 2 Mbps, en la banda RF de 2.4Ghz (FHSS y DSSS) e infrarrojo (IR) (1997). Todas las especificaciones técnicas listadas debajo son correcciones (amendments) a este estándar, salvo las prácticas recomendadas 802.11F y 802.11T.
IEEE 802.11a	54Mbps, 5Ghz (1999),8 canales no interferentes de 20Mhz. Banda menos saturada.
IEEE 802.11b	Mejoras a 802.11 para proporcionar 5.5 y 11 Mbps (1999) mediante el uso de la modulación CCK. Cuenta con 14 canales (11 o 13 según el país) de 22Mhz, de los cuales solo 3 no se solapan. La distribución de la banda se representa en la Figura 1.1.
IEEE 802.11c	Procedimientos de operación como puente; incluido en el estándar 802.1D(2001).
IEEE 802.11d	Extensiones para transición internacional (2001)
IEEE 802.11e	Mejoras de Calidad de Servicio (QoS) (2005)
IEEE 802.11F	Protocolo entre Puntos de Acceso (2003, retirado en 2006)
IEEE 802.11g	54Mbps, 2.4Ghz (compatible con 802.11b) (2003)
IEEE 802.11h	Gestión de espectro 802.11a (5Ghz) para compatibilidad europea (2004)
IEEE 802.11i	mejoras de seguridad (2004)
IEEE 802.11j	Extensiones para Japón (2004)
IEEE 802.11-2007	Versión nueva del estándar que incluye las mejoras a, b, d, e, g, h, i y j (2007)
IEEE 802.11k	mejoras en la gestión de recursos radio (2008)
IEEE 802.11n	aumento de la tasa binaria utilizando antenas MIMO (2009)
IEEE 802.11p	Acceso inalámbrico para entornos vehiculares (WAVE-Wireless Access for the Vehicular Environment) (previsto para junio de 2010)
IEEE 802.11r	transición rápida (2008)
IEEE 802.11s	redes malladas (mesh networking), conjunto de servicios extendido (ESS, Extended Service Set) (previsto para septiembre de 2010)

IEEE 802.11T	predicción del rendimiento inalámbrico (WPP, Wireless performance Prediction)-métodos de test y métricas (cancelado)
IEEE 802.11u	Interoperabilidad con redes no-802 (ejm. Redes celulares) (previsto para Septiembre 2010)
IEEE 802.11v	Gestión de red inalámbrica (previsto para Junio de 2010)
IEEE 802.11w	Seguridad para las tramas de gestión (2009)
IEEE 802.11y	Operación en EEUU (3650-3700Mhz) (2008)
IEEE 802.11z	extensiones para el establecimiento de enlaces directo (DLS, Direct Link Setup) (Agosto de 2007-Diciembre de 2011)
IEEE 802.11aa	flujos de transporte de video (marzo de 2008-October 2011)
IEEE 802.11mb	mantenimiento del estándar; se convertirá en 802.11-2011 (publicación prevista para Junio de 2011)
IEEE 802.11ac	tasa binaria muy alta (<6Ghz); mejoras potenciales sobre 802.11n: mejor esquema de modulación; canales más anchos (80 ó 160Mhz), MIMO multiusuario (Septiembre de 2008-Diciembre de 2012)
IEEE 802.11ad	tasa binaria muy alta (60Gh<) (Diciembre de 2008-Diciembre de 2012)
IEEE 802.11ae	gestión de calidad de servicio (QoS) (Septiembre de 2009-Junio de 2012)
IEEE 802.11af	Espectro no utilizado en difusión de TV (septiembre de 2009- Diciembre de 2012)

Tabla. 1. 1. Evolución de los estándares Wifi.

1.3.Problemática del uso de uso de redes inalámbricas en largas distancias [1][4]

1.3.1. Capa física

Los límites físicos de distancia alcanzable con WiFi dependen de: la máxima potencia de transmisión (PIRE), pérdidas de propagación, sensibilidad de recepción, entorno geográfico, y condiciones climáticas que pueden causar un resultado peor que el teórico.

El protocolo IEEE802.11 recoge diferentes tipos de modulación y codificación, de forma que cuanto mayor sea la velocidad, mayor es la potencia necesaria en recepción para mantener un enlace con una BER baja. Por lo tanto la sensibilidad, obliga a usar velocidades bajas si se quiere lograr enlaces de larga distancia con una cierta estabilidad.

La absorción de algunos materiales como el metal y el agua (lluvia, niebla, vapor y nubes bajas), pueden ser un problema, sin embargo el efecto puede observarse solo por encima de los 15GHz (ITU-R I.719-2), y aun así sus efectos son despreciables. El granizo en cambio tienen gran influencia a partir de los 2GHz, pero la probabilidad de ocurrencia es despreciable. En general, la acumulación de nieve y hielo en las antenas tiene más importancia que la presencia de nieve en el trayecto. La atenuación por vegetación según la ITU-R P.833 presenta un valor de 0.2dB/m en 2GHz y de 1dB/m para 5GHz.

Para el análisis de atenuación por obstáculos se utiliza la zona de Fresnel, para determinar cuánto se tiene de despejamiento por sobre los obstáculos. Es importante que la primera zona de Fresnel garantice un 60% de su despeje, caso la señal es atenuada.

1.3.2. Capa MAC

Aparte de las restricciones que impone el balance de enlace, la capa MAC tiene multitud de tiempos constantes definidos que tienen diferentes efectos en función de la distancia que exista entre estaciones.

En IEEE 802.11 se emplea el mecanismo RTS/CTS⁵ para evitar colisiones entre nodos ocultos⁶; no obstante, ese mecanismo funciona si el cómputo del NAV⁷ corresponde con el tiempo que verdaderamente el canal va a permanecer ocupado; puesto que el NAV no se calcula teniendo en cuenta el tiempo de propagación, a medida que la distancia aumenta su efectividad empeora; en enlaces punto multi-punto con distancias del orden de kilómetros, el RTS/CTS es prácticamente inservible, y no hay un mecanismo alternativo.

Para un enlace punto a multipunto, además de darse las mismas anomalías de comportamiento del MAC entre la estación transmisora y receptora de un paquete, las otras estaciones que observan pasivamente el canal esperando que se desocupe tomarán decisiones equivocadas al considerar el canal libre cuando no lo está.

En definitiva, WiFi puede servir, aunque con cierta pérdida de prestaciones, para enlaces punto a punto de larga distancia si los equipos terminales permiten configurar el

⁵ Mensajes de control que se envían entre transmisor y receptor a nivel de capa MAC.

⁶ consiste en que una estación cree que el canal está libre, pero en realidad está ocupado por un nodo al que no escucha.

⁷ se encarga de controlar el tiempo que se debe esperar cuando el canal está reservado para la detección de portadora virtual

ACKtimeout⁸ y el Slottime⁹; en cambio, para enlaces punto a multipunto, aún modificando esos parámetros, el funcionamiento es notablemente peor a menos que la carga ofrecida y el número de nodos sean muy bajos.

1.4. Topologías WLAN

Cualquier dispositivo que satisface los requerimientos del estándar 802.11 conforme a la capa de Control de Acceso al Medio (Medium Access Control, MAC) y física (Physics, PHY) puede ser denotada como estación (STA), siendo la entidad más básica. Si una estación proporciona servicios integrados a otra estación, esta se refiere al Access Point (AP). Una STA se autentica y asocia con un AP para acceder a la red.

Por lo tanto, un AP y sus estaciones asociadas forman una topología estrella llamada Conjunto de Servicios Básicos en Infraestructura o BSS. En esta topología las estaciones se basan sobre el AP para la comunicación, mientras que un Independiente Conjunto de Servicios básicos (IBSS) es formada sin un AP, también conocidas como redes ad-hoc, como se muestra en la [Figura. 1.1.a](#).

Con la ayuda del Servicio de Distribución (Distribution Service, DS), múltiples APs pueden interconectar sus BSSs para formar un Conjunto de Servicios extendidos (Extended Service Set, ESS), como se presenta en la [Figura. 1.1.b](#). El 802.11 llama al área total cubierta por todas las BSSs conectadas como el Área de Servicios Extendido (Extended Service Area, ESA). Dentro del ESA las estaciones pueden recorrer desde un AP a otro.

Las especificaciones del estándar 802.11 soportan el uso del medio inalámbrico como sistema de distribución, conocido como WDS o wireless bridge, es decir, como medio de comunicación entre los diferentes puntos de acceso de una ESS. Por lo tanto, el sistema de distribución permite la entrega dentro del ESS y un correcto envío de tramas entre APs, portales y estaciones.

⁸ tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK una vez que ha terminado la transmisión de un paquete.

⁹ Ranura de tiempo

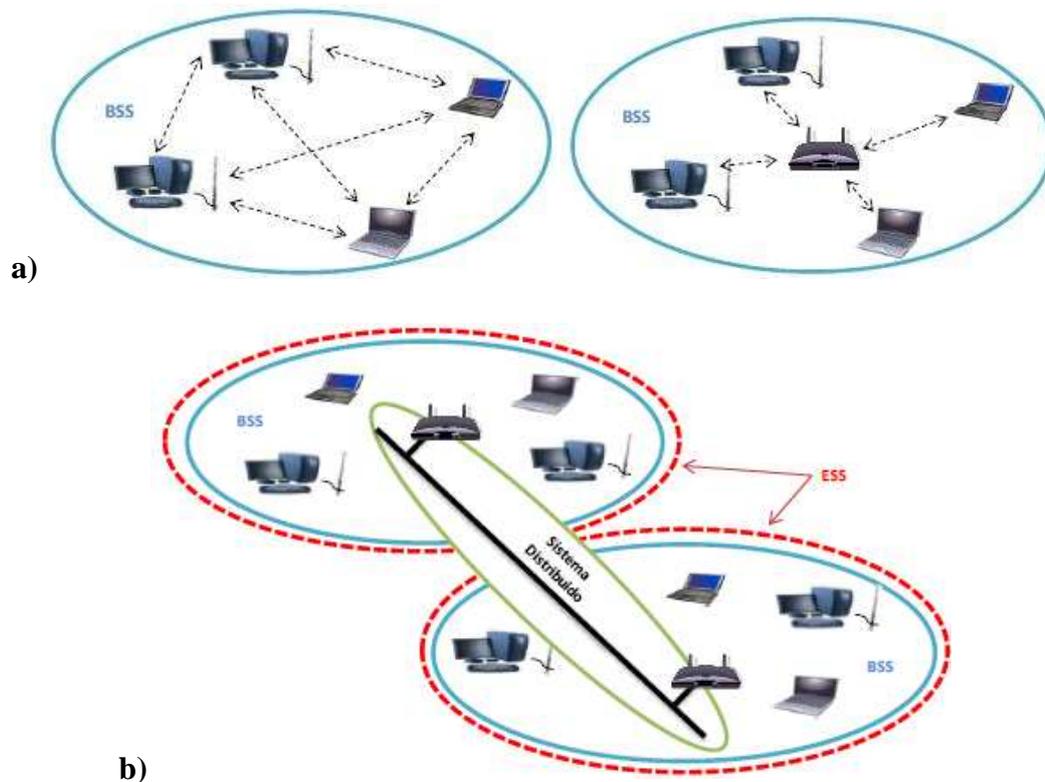


Figura. 1. 1. a) Topología IBSS (Ad-hoc) y Topología Infraestructura BSS, b) Topología ESS.

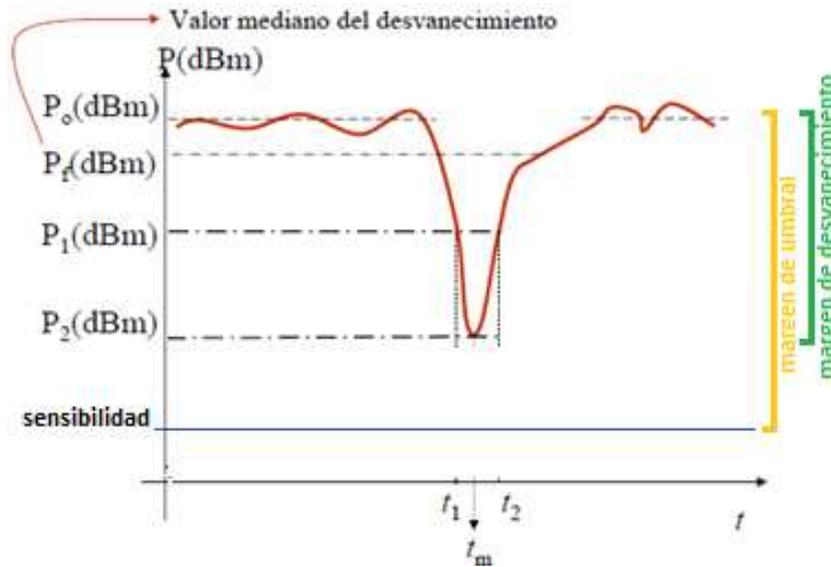
Cuando varios puntos de acceso están conectados formando un área de cobertura, estos deben comunicarse entre ellos para seguir los movimientos de las estaciones móviles. Así, cuando una trama llega al sistema de distribución, ésta es encaminada al punto de acceso adecuado para que lo re-encamine a su destinatario. El encaminamiento utiliza la dirección MAC de la estación móvil como destinatario. Al permitir que un punto de acceso pueda trabajar a dos o más frecuencias, le da la capacidad de encontrar la dirección del destinatario cambiando de frecuencia para buscar en otras tablas, siguiendo una ruta de multi-saltos hasta que encuentra el destinatario y envía directamente la trama.

1.5. Desvanecimiento[6]

Al propagarse una onda electromagnética por la atmósfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo. Esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo, etc; a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el

desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento.

La relación entre margen de umbral μ y margen de desvanecimiento se representa en la [Figura. 1.2.](#)



Potencia recibida nominal P_0 (dBm): valor medio de la potencia recibida.
Desvanecimiento: toda disminución de la potencia recibida de la señal con relación a su valor nominal.
Profundidad de desvanecimiento (dB): diferencia entre el valor nominal y el nivel recibido en condiciones de desvanecimiento. $F_1 = P_0 - P_1$; $F_2 = P_0 - P_2$
Duración de desvanecimiento: tiempo que media entre la pérdida y recuperación del nivel. $\tau = t_2 - t_1$

Figura. 1. 2. Representación grafica del desvanecimiento.

El margen de desvanecimiento es un factor que se incluyen en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles en la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo las pérdidas por trayectorias múltiples, la variabilidad del terreno, y además los objetivos de confiabilidad del sistema. Esto queda expresado ([Ecuación. 1.1.](#)) al resolver las ecuaciones de confiabilidad de Barnett-Vignant para una disponibilidad anual específica en un sistema no protegido sin diversidad. [6]

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * d}{400}$$

$$F_M = 30 \log(d) + 10 \log(6abf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Ecuación. 1. 1.

Donde:

F_M =margen de desvanecimiento dB.

d =distancia entre el Tx y Rx

f =frecuencia de la portadora Ghz

$(1 - R)$ =objetivo de confiabilidad para una ruta de 400Km en un sentido.

a =factor de rugosidad. 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso, 1 sobre un terreno promedio, 0.25sobre un terreno muy áspero y montañoso.

b =factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual. 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual, 0.5 para áreas calientes y húmedas, 0.25 para áreas continentales promedio, 0.125 para áreas muy secas o montañosas.

Para que el sistema diseñado cumpla con el objetivo de confiabilidad, se requiere que el margen de umbral del sistema M_u , sea mayor al margen de desvanecimiento F_M . Según diversos parámetros, el desvanecimiento se clasifica como se muestra en la [Tabla. 1.2.](#)

característica	Tipo de desvanecimiento	
	Profundidad	Profundo (~3dB)
Duración	Lento	Rápido
Característica espectral	Plano	Selectivo
Característica Propagación	Variación de k	Multitrayecto
Distribución probabilística	Gaussiano	Rayleigh-Rice
Dependencia temporal	continuado	Puntual

Tabla. 1. 2. Clasificación de los desvanecimientos.

El desvanecimiento multitrayecto ocurre por la existencia de múltiples caminos que llegan al receptor, debido a reflexiones ya sean en el suelo o en capas atmosféricas por discontinuidades en el índice de refracción de la troposfera.

La [Figura. 1.3.](#) representa la variación temporal de la amplitud de envolvente de la señal recibida, formada por un centelleo que sigue una ley gaussiana de media m y desviación típica σ , que es también pequeña del orden de unos 0.5dB. La señal continúa con un desvanecimiento intenso debido a propagación multitrayecto que fluctúa entorno a una media \bar{r} , que es inferior a m . [7]

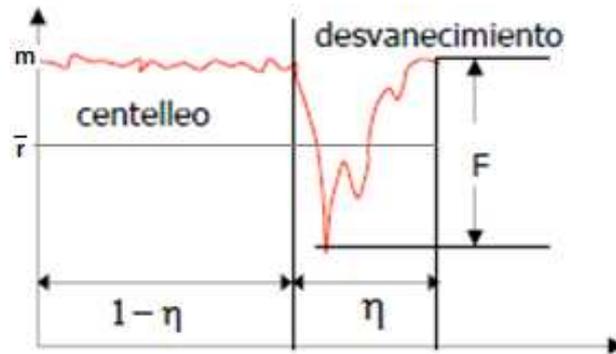


Figura. 1. 3. Desvanecimiento multitrayecto.

El porcentaje de tiempo durante el cual el desvanecimiento es de tipo multitrayecto se denomina factor de actividad de multitrayecto n , por lo tanto $1-n$ mide el porcentaje de tiempo de propagación en condiciones normales. El parámetro n es una variable aleatoria cuya estadística depende del período de observación y de condiciones meteorológicas. El período suele ser de un mes, y en cuanto al clima, se elige el mes más desfavorable.

1.5.1. Indisponibilidad y confiabilidad de propagación

Todos los métodos de cálculo de probabilidad de desvanecimiento profundo hacen uso del mismo principio, difiriendo únicamente entre sí en la forma de evaluar P_0 (factor de aparición de desvanecimiento), ya sea con el método de Mojoli o los dos que describe la Rec. UIT-R P.530, todos estos válidos para los pequeños porcentajes de tiempo utilizados en los cálculos de radioenlaces.[8]

Según el método de Mojoli, el valor de P_0 para el mes más desfavorable se calcula con la [Ecuación. 1.2.](#)

$$P_0 = 0.3 * a * b * \left(\frac{f}{4}\right) * \left(\frac{d}{50}\right)^3 \quad \text{Ecuación. 1. 2.}$$

$$b = \left(\frac{s}{15}\right)^{-1.3}$$

$$\bar{h} = \frac{\sum hi}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (hi - \bar{h})^2}{n}}$$

f : frecuencia Ghz

d : longitud del enlace Km

a : Factor climático ($a = 1$ templados; $a = 0.25$ secos y montañosos; $a = 4$ húmedos o de variaciones intensas).

b Influencia del terreno.

S : ondulación S (entre 5 y 100m). Valor de desviación típica de las alturas del terreno para los puntos del perfil con exclusión de los terminales y puntos situados dentro de un intervalo e

Por lo tanto, la probabilidad de rebasar un desvanecimiento F (dB) (margen bruto M), queda definida por la [Ecuación.1.3.](#), cuyo valor en porcentaje indica el tiempo fuera de servicio en horas, minutos y segundos, como se expresan en la [Ecuación. 1.4.](#)

$$P(F) = P_0 * 10^{-\frac{FM}{10}} * 100 \quad \text{Ecuación. 1. 3.}$$

$$Ip_{días} = (365 * P(F))/100$$

$$Ip_{horas} = 24 * Ip_{días}$$

$$Ip_{minutos} = 60 * Ip_{horas}$$

$$Ip_{segundos} = 60 * Ip_{minutos} \quad \text{Ecuación. 1. 4.}$$

El valor de $P_0 = \frac{n}{\sigma_r^2}$, depende de la longitud del enlace, de la frecuencia, de la rugosidad del terreno y del clima. En la Recomendación UIT-R P.530, se da una relación empírica entre n y P_0 , representada en la [Ecuación. 1.5.](#)

$$n = 1 - \exp[-0.2 * p_0^{0.75}] \quad \text{Ecuación. 1. 5}$$

La confiabilidad corresponde al porcentaje de tiempo probable que un enlace no se interrumpe por consecuencia del desvanecimiento. A partir del margen de desvanecimiento (F_M), se puede obtener la confiabilidad del sistema con la [Ecuación.1.5.](#)

$$R = (1 - P) * 100 \quad \text{Ecuación. 1. 6.}$$

1.5.2. Indisponibilidad de equipos

La confiabilidad puede definirse como la capacidad de un componente, equipo o sistema de no fallar durante un determinado período de tiempo. Existe una relación matemática entre la confiabilidad de cada una de las partes, componentes y el sistema completo. Esta relación matemática es uno de los métodos conocidos para obtener en forma anticipada la confiabilidad de un equipo aún no instalado. La confiabilidad distingue 3 tipos de periodos de fallas:

- Fallas que ocurren al iniciarse el período de vida operativo y que suceden por defectos de producción o de instalación
- Fallas debido al desgaste y que dependen del mantenimiento preventivo
- Fallas aleatorias distribuidas y que dependen del mantenimiento preventivo

Las fallas aleatorias tienen una distribución uniforme y por ello la confiabilidad responde a una ley exponencial. Por comodidad se usa la inversa de la tasa de fallas aleatorias denominado MTBF (Mean Time Between Failure) expresado en horas.

En las pruebas se mide el tiempo medio hasta la falla MTTF (Mean Time To Failure) que se define como el tiempo hasta cuando falla el 50% de los componentes probados. En la mayoría de los casos se requiere el tiempo medio hasta la primera falla MTTF (MEAN Time To First Failure) es decir el MTBF.

Para el cálculo se requiere, además del MTBF de los equipos, el concepto de mantenibilidad. Se define así a la probabilidad de restituir o volver a poner en marcha en un tiempo determinado a un sistema que ha sufrido una falla o interrupción. El tiempo de interrupción comprende el tiempo logístico de movilidad y el tiempo administrativo. Se expresa mediante el Tiempo debido de reparación MTTR (Mean Time To Repaired) en horas.

El valor de MTTR puede reducirse adoptando apropiadas normas de mantenimiento como: diseño que requiera un mínimo de idoneidad técnica y de herramientas; uso de módulos intercambiables, uso de alarmas claras y distribuidas, pruebas de mantenimiento correctivo y preventivo simples de tipo ON-OFF, correcto rotulado del equipo y módulos, disponer de un sistema de telesupervisión con una correcta reunión de alarmas que permita conocer de antemano la unidad afectada en una estación no atendida.

La disponibilidad D se define como la probabilidad que el sistema se encuentre trabajando en forma satisfactoria y equivale al complemento de la indisponibilidad I . La indisponibilidad es la proporción de tiempo [us] que el sistema está cortado (MTTR) frente al tiempo total (MTBF+BTTR) ([Ecuación. 1.7.](#)).

$$I_e = \frac{MTTR}{MTTR+MTBF} * 100 = \frac{MTTR}{MTBF} * 100 \quad \text{Ecuación. 1. 7.}$$

- $MTBF$ (mean time between failures) = Tiempo medio entre fallos, expresado en horas.
- $MTTR$ (mean time to repair) = tiempo medio de reparación, corresponde al valor medio del tiempo que transcurre entre la producción de la avería y el restablecimiento de la operación del equipo, depende del diseño del equipo y de la periodicidad de mantenimiento.

La indisponibilidad equivale aproximadamente a $MTTR/MTBF$ debido a la gran diferencia de órdenes de magnitud.

1.5.3. Indisponibilidad Total

La indisponibilidad de un radioenlace en un trayecto de longitud L , se define como la suma de la indisponibilidad de los equipos para cada uno de las n estaciones que conforman la red ([Ecuación. 1.7.](#)), y la indisponibilidad de propagación que se calcula para cada vano v ([Ecuación. 1.4.](#)). La indisponibilidad total se expresa con la [Ecuación. 1.8.](#)

$$I(L) = I_e(n) + I_p(v) \quad \text{Ecuación. 1. 8.}$$

CAPITULO II

REDES MALLADAS INALAMBRICAS

2.1.Evolución de WMN [10][11][12]

El uso de las redes inalámbricas de área local (WLANs) ha evolucionado enormemente en los últimos años debido a su fácil despliegue y mantenimiento. Sin embargo, los puntos de acceso en WLAN tienen que estar conectados a la red backbone a través de un medio cableado como se muestra en la [Figura. 2.1.a](#) .

Es así como surgen las redes inalámbricas de tipo malla o Wireless Mesh Networks (WMN) que ofrecen una atractiva alternativa para proporcionar conexión de internet inalámbrico de banda ancha por medio de un backbone inalámbrico y eliminando la necesidad de extensos cables como se muestra en la [Figura. 2.1.b](#)). Esto permite que las redes sean descentralizadas, es decir, que la comunicación entre un nodo y cualquier otro puede ir más allá del rango de cobertura de cualquier nodo individual.

Esto se logra haciendo un enrutamiento multisaltos, donde cualquier par de nodos que desean comunicarse podrán utilizar para ello otros nodos inalámbricos intermedios que se encuentren en el camino. Esto quiere decir, que las WMN utilizan la topología de infraestructura puesto que cuenta con puntos de acceso, pero usa la característica principal de las redes ad-hoc para mandar los paquetes a través de dispositivos intermedios. Esta característica permite unir a dispositivos que, aun estando fuera de la zona de cobertura del AP, está dentro de la zona de cobertura de cualquier otro AP.

Tradicionalmente las redes inalámbricas mult salto están compuestos casi exclusivamente de un solo radio, estas redes no están en condiciones de escala efectiva para explotar los crecientes sistemas de ancho de banda disponible. Es así como nace el uso de nodos de múltiples radios (2.4Ghz para dar servicio, 5.8Ghz para el backbone) y múltiples canales (3 no solapados en 2.4Ghz, y 12 no solapados en 5Ghz) como se representa a diferentes colores en la red de la [Figura. 2.1.b](#) en una red mallada (MRMC), para aliviar significativamente los problemas de capacidad, interferencia e incrementar el ancho de banda disponible en la red.

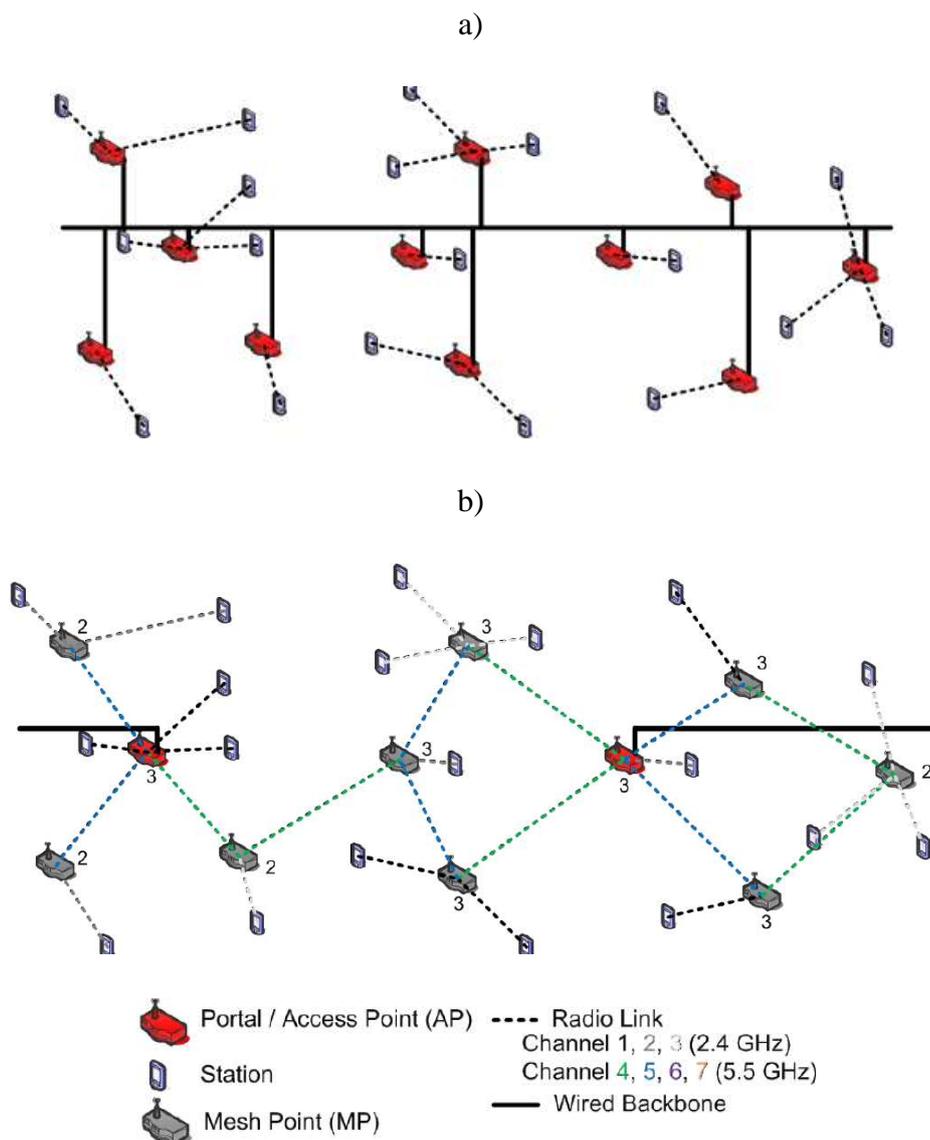


Figura. 2. 1. a) WLAN con backbone cableado, b) Escenario WMN Multiradio Multicanal (MRMC).

2.2. Motivaciones para el uso de WMN MRMC [12][13]

Entre los principales objetivos de las redes inalámbricas de tipo malla, se encuentra el de brindar mayor roaming¹⁰, extender el área de cobertura para problemas de conectividad en entornos rurales o lejanos, al mismo tiempo los nodos malla están normalmente equipados por múltiples interfaces, las cuales pueden ser incluso de diferentes tecnologías de acceso inalámbrico. Además, permite tener enlaces redundantes y fácil despliegue por el tipo de enrutamiento que se aplica con capacidad de autoconfiguración, obteniendo una gran estabilidad en cuanto a condiciones variables o en alguna falla de un nodo en particular.

Es por eso que WMN ha surgido como una solución eficiente, flexible y económica en cuanto a la disponibilidad de productos baratos fuera de serie. Además, la diversidad de radios operando en diferentes frecuencias con diferentes rangos, ancho de banda y características de atenuación pueden ser aprovechados para mejorar la capacidad de la red.

Como en cualquier tecnología, las redes inalámbricas malladas presentan ciertas limitaciones para garantizar QoS¹¹, como es el retraso de los paquetes a lo largo de su camino, además del rendimiento ya que el ancho de banda se ve influenciado por el número de saltos que el paquete debe dar hasta llegar a destino, y la seguridad influye negativamente en este aspecto.

Los estándares IEEE 802.11b/g, y 802.11 a y 802.11n proporcionan 3 y 12 canales no solapados respectivamente, que puede ser utilizado simultáneamente. Esto lleva a la utilización eficiente del espectro y aumenta el ancho de banda real disponible para la red. Sin embargo, en una red real WMN, el número total de radios es mucho mayor que el número de canales disponibles, por lo que una de las cuestiones claves en una arquitectura con múltiples radios y múltiples canales es el problema de asignación de canales, que consiste en la vinculación de cada radio a un canal, de tal manera que la utilización eficiente de canales disponibles puede ser lograda asegurando la comunicación entre múltiples rutas y la minimización de interferencia en un canal determinado.

¹⁰ Movilidad de un usuario.

¹¹ Calidad de servicio

Los algoritmos de asignación de canal diseñado para redes multi-radio multi-canal de redes malladas inalámbricas (MRMC-MWN) han tratado con canales ortogonales o sin superposición. Recientemente la disponibilidad limitada de canales ortogonales donde la red es muy densa en términos de distancias inter-nodal también ha llevado a estudiar los canales parcialmente superpuestos (POC, partially overlapped channels), que se consideran como un gran potencial para incrementar el número de transmisiones simultáneas y eventualmente mejora la capacidad de la red, especialmente en el caso de MRMC-WMN.

Por consiguiente, para aumentar el rendimiento de la red se requiere necesariamente de mejorar toda la pila de protocolos, que actualmente está previsto dentro del grupo de trabajo IEEE 802.11s, cuyas características se encuentran en borrador.

2.3.Objetivos de asignación de canal

La asignación de canales se orienta a varios objetivos de diseño:

2.3.1. Minimización de interferencia

Uno de los objetivos claves que necesita ser considerado al diseñar un esquema de asignación de canales es reducir al mínimo la interferencia de la red. Este objetivo de minimización de interferencia puede bien ser implementado globalmente (en caso de esquemas centralizados) o localmente (en caso de esquemas distribuidos). Esto ha sido demostrado que los efectos de interferencia en canal puede causar una pérdida significativa de throughput (desempeño) en la red, especialmente si el diseño incluye parcialmente canales superpuestos. Por lo tanto, la mayoría de los algoritmos de asignación de canales deben centrarse en esta cuestión de grave importancia.

2.3.2. Maximización de throughput

Todas las redes inalámbricas son sujetas a limitaciones de capacidad debido a muchas cuestiones relacionadas a las características del medio. Así un objetivo común para cualquier diseño inalámbrico es centrarse en aumentar la capacidad mediante la aplicación de sistemas innovadores de asignación de canal que puede maximizar el rendimiento de la red en general.

El rendimiento es a menudo considerado como el principal criterio para evaluar la eficacia de un nuevo esquema. De hecho, el rendimiento es maximizado por incrementar el número de transmisiones paralelas en una red. Así, los algoritmos de asignación de canal deben equitativamente centrarse sobre el rendimiento máximo.

2.3.3. Aumento de la diversidad de canal

El estándar IEEE 802.11 especifica múltiples canales no superpuestos para su uso (3 en 802.11b/g, 12 en 802.11a). Así el esquema de asignación de canal debe tener como objetivo en la explotación de la diversidad de canales para maximizar la utilización del espectro.

Además, la asignación cuidadosa de canales superpuestos parcialmente con el modelo apropiado de interferencia, puede mejorar la utilización del canal al nivel máximo. Por lo tanto, los investigadores de redes malladas inalámbricas están haciendo hincapié en la diversidad de canales cada vez mayor, mientras se diseña un esquema de asignación de canal.

2.3.4. Carga balanceada

Para maximizar la utilización de canales, los canales deben ser asignados de manera que la carga de tráfico es igualmente equilibrada entre los canales. Por lo tanto, un buen algoritmo de asignación de canales debe adaptarse a las condiciones cambiantes de tráfico y la carga balanceada entre canales para lograr una alta utilización de la red.

2.3.5. Conservación de Topología

La asignación ineficiente del canal puede conducir a las particiones de red que en última instancia deforma la topología original. Así, la preservación de la topología de red evitando la partición, es también un objetivo importante para los algoritmos de asignación de canal.

2.4.Arquitectura de red [12][14][15]

En la tradicional WLAN, cada Access Point (AP) es conectado a la red cableada, mientras que en WMNs solamente es un subconjunto de ellos, como se muestra en la [Figura. 2.2](#). Un AP que es conectado a la red cableada es denominado Gateway (GW),

mientras que un AP sin conexiones cableadas se denomina Mesh Router (MR) o mesh point (MP), y ellos se conectan a la GW a través de múltiples saltos. Los MRs y GW son similares en el diseño, con la única diferencia que un GW es directamente conectado a la red cableada, mientras que un MR no.

Por lo tanto, los MPs pueden comunicarse no solamente con otros MPs dentro del rango de comunicación sino también fuera de esta gracias a la configuración mesh discovery. El punto clave de esta configuración es el de ir descubriendo caminos directos hacia los APs Mesh, sin necesidad de llegar a fluir por la red cableada.

Con las redes WMN es posible que estos puntos de acceso se puedan conectar y comunicar entre ellos de forma inalámbrica, utilizando las mismas frecuencias del espectro disperso, ya sea en 2.4 GHz o 5.8 GHz, para operar sólo necesitan de clientes ordinarios IEEE 802.11.

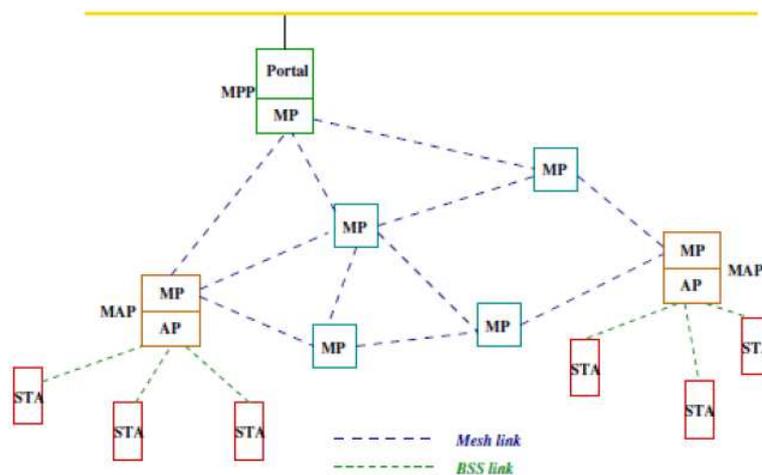


Figura. 2. 2. Arquitectura WMN

El conjunto de MPs en una red WMN se denomina Mesh BSS, como se describe en la [Figura. 2.3.](#), donde sus miembros pueden ser capaces de comunicarse siempre que una ruta mesh exista entre ellos. Esto quiere decir, que si A forma un elemento del conjunto de pares MPs, al comenzar con el conjunto de pares MPs de B, cada elemento del conjunto de pares es añadido, hasta que A y todos los MP pueden intercambiar los MSDUs (MAC Service

Data Units). En consecuencia, el conjunto concatenado de enlaces Mesh (Mesh Links, MLs) define una ruta mesh (Mesh Path).

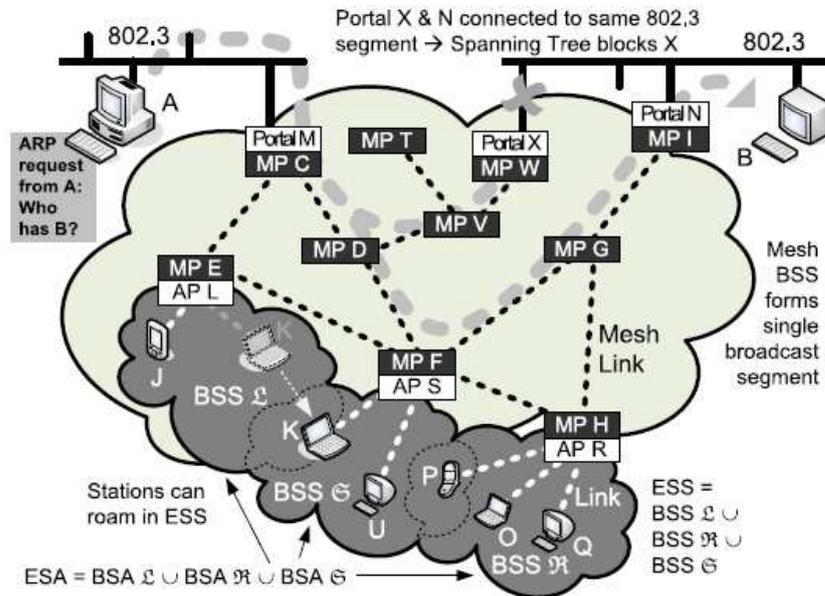


Figura. 2. 3. Representación de una Mesh BSS

Esto es importante si se compara con las redes tradicionales Wi-Fi, donde los nodos deben estar dentro del rango de cobertura de un AP y solamente se pueden comunicar con otros nodos mediante los AP; estos AP a su vez necesitan de una red cableada para comunicarse entre sí. Con las redes en malla, todos los nodos pueden comunicarse directamente con los vecinos dentro de su rango de cobertura inalámbrica y con otros nodos distantes mediante el enrutamiento multisalto.

2.5. Distinguir WMNs de MANET¹² y WSN¹³ [12]

A continuación se presentan algunas características que distinguen WMNs de MANETs y WSNs:

- **Mesh routers son estáticos.-** Mesh routers en WMN son estacionarios, por lo tanto, la selección de ruta debe centrarse en descubrir los enlaces que interfieren con pocos nodos posibles para proporcionar un alto rendimiento de extremo a extremo.

¹² Mobile adhoc network o red adhoc móvil

¹³ Wireless sensor network o red de sensores inalámbricos.

- **Mesh routers no tienen restricción de potencia.-** En contraste a las tradicionales redes inalámbricas, como son MANETs y WSNs, donde los nodos son normalmente de potencia limitada, los MRs tienen abundante energía a su disposición.
- **Mesh routers tienen múltiples radios.-** Con el reducido costo de radios, MRs pueden estar equipados con múltiples radios. Por lo tanto, transmisiones y recepciones simultáneas se pueden lograr utilizando la asignación de canal inteligente a estos radios.
- **El modelo de tráfico es diferente.-** En MANETs, el tráfico puede ser de cualquier punto Mobile Node (MN) a cualquier otro MN, mientras que en WMNs, el tráfico es entre MRs y el GW.
- **El tráfico se concentra en determinadas rutas.-** En MANETs, la distribución de tráfico es generalmente uniforme, mientras que en WMN, el tráfico es concentrado a lo largo de las rutas dirigidas hacia el GW.
- **El volumen de tráfico es alto.-** Las MANETs han sido diseñadas esencialmente para establecer comunicación dentro de un pequeño grupo de personas, mientras que el objetivo de WMNs es proporcionar conexiones de alto ancho de banda a grandes comunidades, y por lo tanto debe ser capaz de dar cabida a un gran número de usuarios que acceden a internet. Debido al alto volumen de tráfico estimado en WMNs, la escalabilidad y tolerancia a fallos son consideraciones importantes en su diseño.

2.6. Interoperabilidad

Una de las características principales de la familia de estándares 802 es la interoperabilidad entre los diferentes conceptos de redes. Como se muestra en la [Figura. 2.4.](#) WMN implementa un único dominio de difusión y por lo tanto se integra perfectamente con otras redes 802(802.16, 802.3 etc).

Los nodos están equipados para determinar si el destino se encuentra dentro o fuera de la malla, con una influencia de la capa 2 al descubrimiento del camino mesh. Para un destino dentro de la malla la utilización de la capa 2 sirve para el descubrimiento y/o envío de caminos mesh, y para un destino fuera de la malla, se necesita identificar el portal

correcto y entregar paquetes vía unicast; y si no lo conoce, los entregará a todos los portales mesh.

Los MPs forman enlaces con otros nodos y pueden establecer caminos utilizando protocolos de enrutamiento. El proceso de funcionamiento se basa al de una red de Internet, donde los paquetes viajan a través de múltiples salto para llegar a su destino mediante el uso de algoritmos de encaminamiento dinámico implementado en cada dispositivo, y este a su vez debe comunicar la información de enrutamiento a otros dispositivos en la red. Cada dispositivo luego determina qué hacer con los datos recibidos, ya sea guardarlos o reenviarlos, dependiendo del tipo de protocolo implementado. El algoritmo de enrutamiento usado debe asegurar que los datos tomarán la ruta más apropiada (más rápida) a su destino.

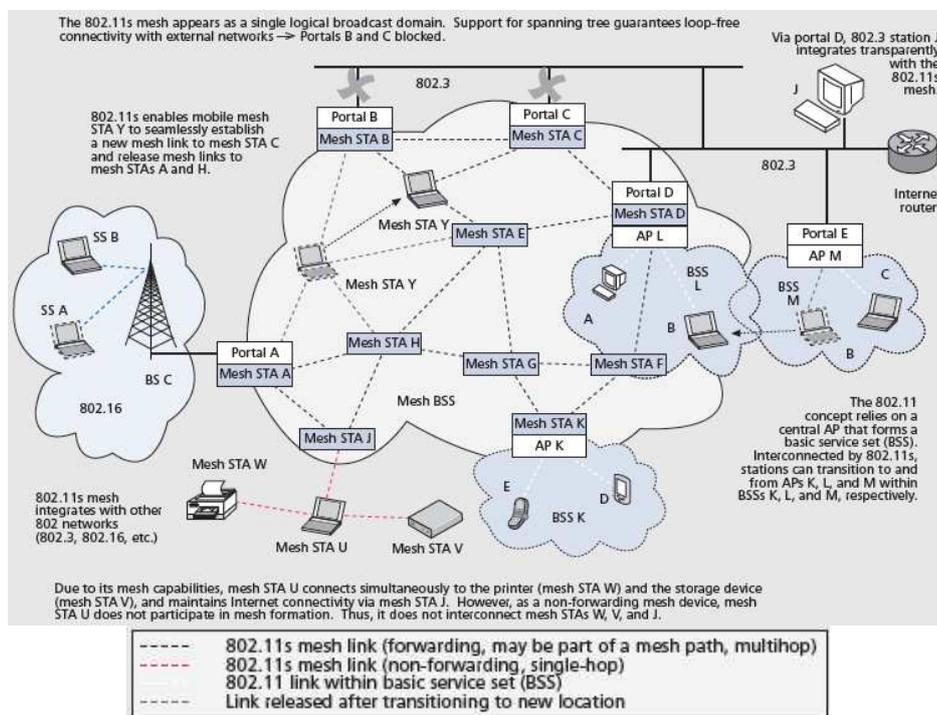


Figura. 2. 4. Conectividad entre diferentes redes 802.

2.7. Conectividad o interferencia [12][23]

Aunque los nodos mesh multi-radio tienen el potencial de mejorar significativamente el rendimiento de las redes mesh, la asignación del canal eficiente es una cuestión clave en garantizar la conectividad de la red, al mismo tiempo mitiga los efectos adversos de interferencia del número limitado de canales disponibles en la red. Un nodo WMN necesita compartir un canal común con cada vecino de su rango de

comunicación con los que necesita establecer un enlace. Sin embargo, para reducir la interferencia, un nodo debe minimizar el número de vecinos con el cual comparte un canal común. Por lo tanto el objetivo de la asignación del canal es lograr un equilibrio entre minimización de interferencia y maximización de conectividad.

2.7.1. Máxima conectividad en un escenario Single-radio Single-channel

La [Figura. 2.5.a\)](#) presenta la conectividad de la red cuando un solo radio está operando sobre un solo canal. En este escenario, un enlace es colocado entre dos nodos si ellos están dentro de su respectivo rango de transmisión. Este es la máxima conectividad de red realizable puesto que un solo canal común es compartido entre todos los nodos.

2.7.2. Máxima conectividad en un escenario Multi-radio Multi-canal

En la [Figura. 2.5.b\)](#), existen 4 canales disponibles, sin embargo solo 3 pueden ser asignados a los radios, presentándose una máxima conectividad de red alcanzada por la asignación de diferentes canales a los radios. Aunque, hay un enlace de comunicación directa entre cada par de vecinos, no todos los vecinos pueden estar activos simultáneamente debido a posibles interferencias, por la existencia de canales comunes.

2.7.3. Mínima interferencia en un escenario Multi-radio Multi-Canal

Por otro lado, la [Figura. 2.5.c\)](#) presenta como la interferencia podría ser completamente eliminado ya que no existe un canal común, y todos los enlaces pueden ser simultáneamente activos. El compromiso aquí es el reducir la interferencia minimizando la máxima conectividad entre vecinos.

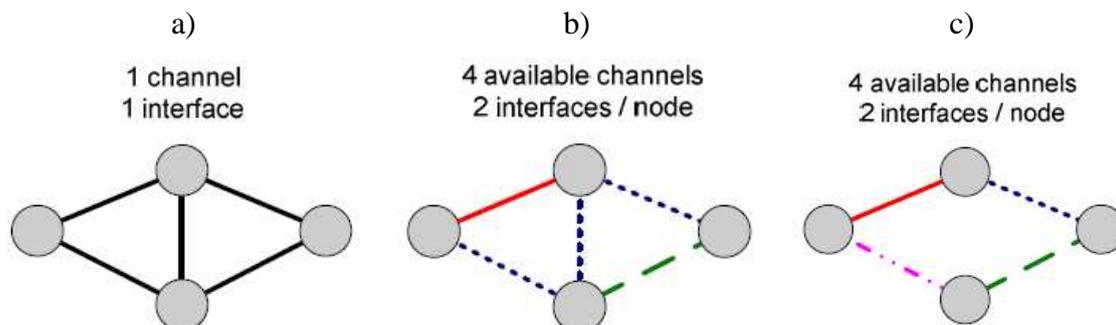


Figura. 2. 5. Conectividad e interferencia; a) Escenario con un solo canal, b) Máxima conectividad e interferencia, c) Mínima conectividad y minima interferencia.

2.8.Pila de protocolos [15]

Como se muestra en la [Figura. 2.6.](#) el control de acceso al medio (MAC) en IEEE 802.11s está basado en la existencia de MAC IEEE 802.11, y un protocolo de enrutamiento mesh de capa MAC. Así, por ejemplo en una MPP, es necesario un protocolo de enrutamiento de capa 3 para la selección de rutas desde la red mallada a una red externa o viceversa.

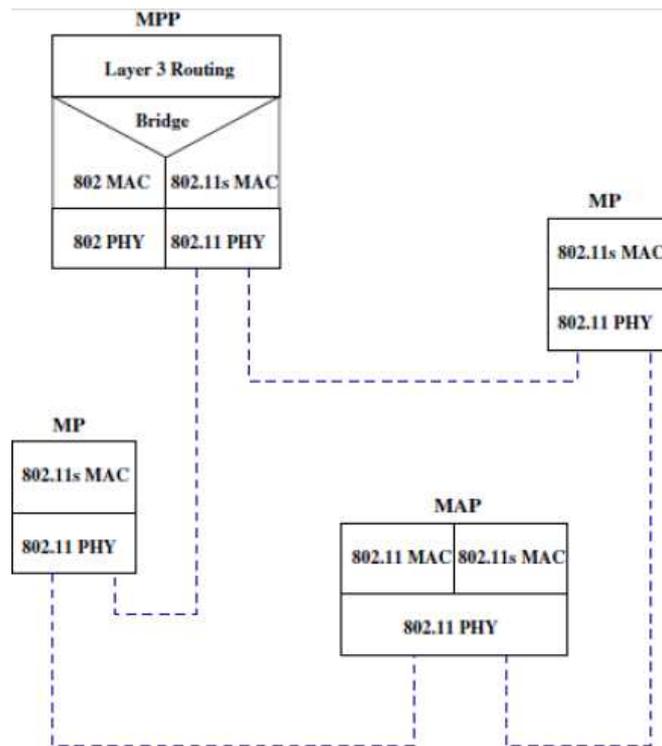


Figura. 2. 6. Pila de protocolos de IEEE 802.11s

2.8.1. Capa Física

En las redes mesh por poseer una gran densidad de nodos y un espectro radioeléctrico limitado, para un perfecto funcionamiento de éstas, es necesario optimizar el uso de los canales minimizando las interferencias. Los mecanismos básicos para lograr dicha minimización de interferencia son:

- Selección Dinámica de Frecuencia o DFS.
- Control de Potencia o TPC.

Estos mecanismos al ser aplicados a las redes WMN necesitan de un buen control por parte de los protocolos de capas superiores. En la actualidad se están desarrollando investigaciones de tecnologías y protocolos para la capa física que se orientan a mejorar la capacidad ofrecida por las redes WMN, como por ejemplo; utilización de antenas inteligentes, antenas adaptativas o de antenas auto configurable y reprogramables vía software. También, el uso de técnicas MIMO (Multiple Input Multiple Output) para aumentar la eficiencia espectral. El estándar 802.11n ya hace unos de estas tecnologías para conseguir capacidades superiores a los 108Mbps en un enlace inalámbrico.

Además el de no considerar una única tecnología de radio para la misma red mallada, en función de la capacidad y cobertura deseada, por lo que puede estar basada en UWB (Ultra Wide Band) u OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex). En un futura, es de esperar que los distintos clientes dispongan de varias interfaces de red, empleando en cada momento la más adecuada según las necesidades del usuario.

2.9.2. Capa Mac [16]

El acceso al medio en las WMNs debe proporcionar mecanismo que solventen las limitaciones de los estándares actuales, como el IEEE 802.11 que se basa en CSMA/CA, con ciertas limitaciones en las redes multisalto debido a los problemas del nodo oculto y del nodo expuesto. Mecanismos deterministas de acceso al medio, basados en TDMA (Time Division Multiple Access) pueden ser bastantes útiles si existe una buena sincronización, mientras que la opción de emplear CDMA (Code Division Multiple Access) puede disminuir los efectos de las interferencias, ya que dos nodos pueden ocupar simultáneamente el canal empleando códigos distintos. Por ejemplo, el modo mesh de funcionamiento del estándar IEEE 802.16 (WiMAX) emplea un mecanismo TDMA.[16]

Hay que recordar que los equipos basados en la familia de estándares IEEE 802.11 presentan un bajo coste y una gran aceptación en el mercado, por lo que son la solución más atractiva para implementar redes multi-salto.

La capa Mac, además de controlar el acceso al medio puede controlar la utilización de canales simultáneamente, mediante propuestas como MMAC (Multichannel MAC) y HMCP (Hybrid Multichannel Protocol), al igual como lo realizan capas superiores, obteniendo como resultado una mejor capacidad de la red.

MMAC, trabaja con varios canales de radio con solo una interfaz de radio, por esta razón se necesita una buena señalización y coordinación para que todos los nodos escuchen el canal adecuado en cada momento, mientras que HMCP, trabajan con nodos que tienen varias interfaces de radio, unas trabajan en canales fijos y otras en canales variables, empleando los canales fijos para control y señalización.[16]

2.9.2.1. Estructura de una trama WMN

El formato de la trama de datos tiene que ser adaptada a los requerimientos y al estándar del formato IEEE 802.11 legacy. El formato de la trama 802.11 (WLAN tradicional) (sin las extensiones en relieve de la [Figura. 2.7.](#)) proporcionan 4 campos necesariamente para direccionamiento a través de múltiples dispositivos intermedios.[14]

La dirección fuente indica la estación que generó la trama (initial hop), y la dirección de destino indica el receptor previsto (salto final). Ambas direcciones permanecerán sin cambios en un conjunto concatenado de múltiples saltos inalámbricos. El formato de la trama 802.11 proporciona 2 bits denotados “hacia la DS (Sistema de distribución)” y “desde la DS”. Las combinaciones de bit 10 y 01 indican el tráfico entrante o saliente al DS desde una BSS, respectivamente. Para el tráfico que pasa dentro de la DS desde un AP a otro, la combinación 11 es utilizada.[14]

Actualmente, el estándar 802.11 categoriza las tramas en datos, control y gestión:

- Las tramas de datos transportan los datos a las capas superiores.
- Las tramas de control son utilizadas para acuses de recibo y reservas de canal.
- Los dispositivos utilizan las tramas de gestión para crear, organizar y mantener la WLAN y el enlace local.

Para proporcionar la operación de multihop, 802.11s (borrador aprobado) extiende las tramas de datos y de gestión por un campo de control mesh adicional, como se muestra en la [Figura. 2.7.](#)

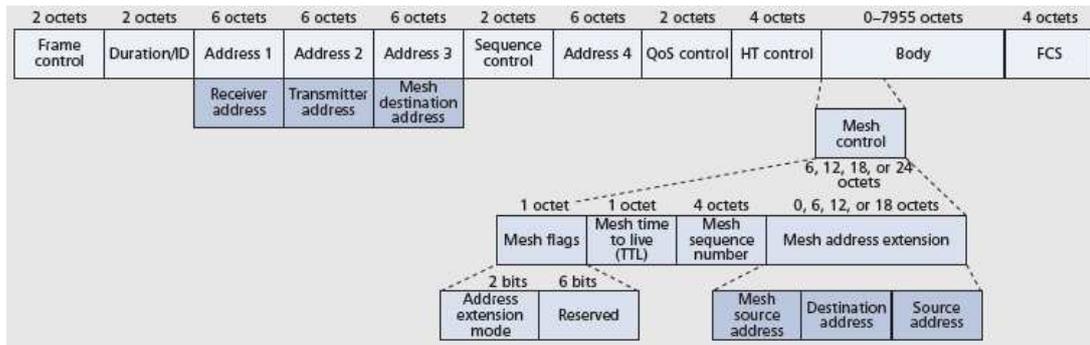


Figura. 2. 7. El campo de control mesh de 802.11s es parte del cuerpo de la trama y proporciona hasta 2 campos más de direcciones.

El campo mesh control consiste:

- Campo mesh time to live (TTL)
- Campo Mesh sequence number
- Campo Mesh flags
- Campo mesh address extension.

Los campos TTL, mesh sequence number y mesh flags están siempre presentes en la trama mesh, mientras que el campo mesh address extension es opcional. Los campos TTL y mesh sequence number, son utilizados para prevenir las tramas de bucles infinitos. Esto se logra debido a que cada MP que reenvía una trama, decrementa el contador. Además el campo mesh sequence number, proporciona una secuencia de numeración de extremo a extremo en la malla (Mesh End-to-End, E2E) y mientras la trama esta fluyendo, los MP utilizan este campo para evitar innecesarias retransmisiones, además el receptor final elimina duplicidades.

El campo mesh flags indica la presencia de direcciones suplementarias o adicionales. Está descrita por los dos primeros bits de Address Extension (AE) y el resto de bits son reservados para futuros usos. El address Extension permite un total de 6 campos de direcciones en la trama mesh. Esto es útil cuando la fuente y el destino de la trama no son parte de la mesh, pero son atrapados por estaciones mesh. Además, el campo address extension permite la adición de 3 direcciones, en lugar de solo 2. La razón de esto es que las tramas de gestión del estándar tienen solamente 3 direcciones. Por lo tanto, en el caso de tramas de gestión mesh multihop, la dirección 4 está incluido en el campo mesh control, en lugar de en el encabezado de la trama estándar.[14]

Como se muestra en la [Figura. 2.4.](#), la estación mesh D atrapa estaciones no-mesh A, B y J. Informando a otras estaciones mesh de su captura, la estación mesh D desvía a sí mismo todas las tramas destinadas para A, B, o J. Juntos con el esquema de 6-direcciones (ver [Figura. 2.8](#)), la entidad capturada puede ser identificada como el destino final más allá del destino intermedio D. Además, la extensión a 6 direcciones permite enrutamiento proactivo, el cual divide una ruta en dos rutas distintas para simplificar la selección de la ruta. Como se muestra en la [Figura. 2.4.](#), solamente la estación mesh C mantiene rutas a todos las estaciones mesh. En este caso las tramas de la estación no-mesh D entra a la malla a la estación mesh K, atraviesa la estación mesh C (la primera ruta), y desde allí hacia la estación mesh J (segunda ruta).[15]

Cuando las estaciones mesh se comunican a través de un solo salto, sus tramas no transportan el campo mesh control.

To DS	From DS	AE Flag	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4	Address 5	Address 6
0	0	0	RA=DA	TA=SA	BSSID	N/A	N/P*	N/P
0	1	0	RA=DA	TA=BSSID	SA	N/A	N/P	N/P
1	0	0	RA=BSSID	TA=SA	DA	N/A	N/P	N/P
1	1	0	RA	TA	DA	SA	N/P	N/P
1	1	1	RA	TA	Mesh DA	Mesh SA	DA	SA

* N/P = Not Present

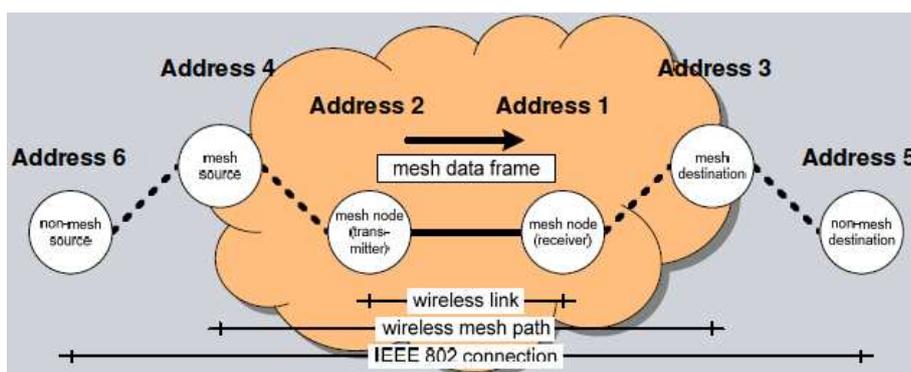
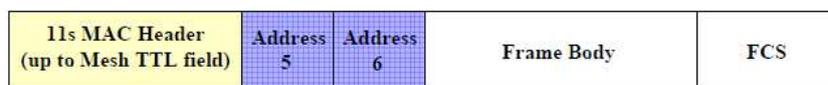


Figura. 2. 8. Esquema 6-address.- cuando la AE flag=0, todos los campos tienen su existencia, mientras que los campos Address 5, y 6 no. Esto garantiza compatibilidad con hardware y/o firmware existentes.

2.9.2.2. Control de acceso al medio [14]

Para el acceso al medio, las estaciones mesh implementan la función de coordinación mesh (mesh coordination function. MCF), que consiste de un esquema obligatorio y un esquema opcional.

MCF se basa en el protocolo de contención conocido como Enhanced Distributed Channel Access (EDCA), que es una variante mejorada de la básica Función de Coordinación Distribuida (Distributed Coordination Function, DCF) en 802.11. A diferencia que en DCF donde todo el tráfico compartía una cola común, en EDCA cada tipo de tráfico se encola en su AC (categoría de acceso) correspondiente y una estación puede transmitir múltiples tramas (4 categorías de tráfico con diferentes prioridades de acceso al medio), sin embargo como fue creada para redes de un solo salto, en redes multi hop logra un rendimiento pobre en la BSS mesh.

Para mejorar QoS, MCF describe un protocolo opcional de acceso al medio denominado Mesh Coordinated Channel Access (MCCA). Este es un protocolo de reservación distribuido que permite a las estaciones mesh evitar colisiones y extiende el concepto de reservación del medio de 802.11. Mientras que Virtual Carrier Sense (V-CS) de 802.11 proporciona reservación instantánea del medio después de una contención exitosa, esta separa el proceso de negociación de reservación del medio. Con MCCA, las estaciones mesh reservan la oportunidad de transmisión TXOPs en el futuro denominado oportunidad MCCA (MCCAOPs).

2.9.3. Capa de red [11][16][17]

Existen varios protocolos de enrutamiento que se han desarrollado para las WMN. Se recomienda el uso de MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) del IETF, el cual se divide en protocolos reactivos con el AODV (Ad-Hoc On-demand Distance vector) y proactivos con el OLSR (Optimized Link State Routing). Además, si en la red los Routers mesh no tienen mucha movilidad y sus rutas no varían tan dinámicamente, se puede utilizar el protocolo OSPF (Open Shortest Path First) con su extensión de movilidad para que permita la autoconfiguración de la red en el caso de que se pierda conexión con algún nodo.

De esta manera, WMN puede trabajar con cualquier tipo de protocolo, pero esto no asegura que el funcionamiento de la red sea el óptimo, confiable, rápida y con gastos

indirectos mínimos, es por esto que su elección es un factor crítico a la hora de diseñar una WMN, dependiendo de los servicios que proporcionará la red, los requisitos de funcionamientos que debe cumplir y la cantidad de nodos que constituirán la red, entre otros.

La elección del protocolo debe ser tolerante a fallos, es decir que permita una nueva selección de ruta en caso de fallos, reduciendo notablemente retardo de extremo a extremo y aumentando el rendimiento. Además la elección del protocolo debe permitir balanceo de carga para escoger la ruta más eficaz para los datos, previniendo la congestión y el tráfico alrededor de los nodos.

La clasificación general de los protocolos de enrutamiento en WMN se presenta en la [Figura. 2.9.](#)

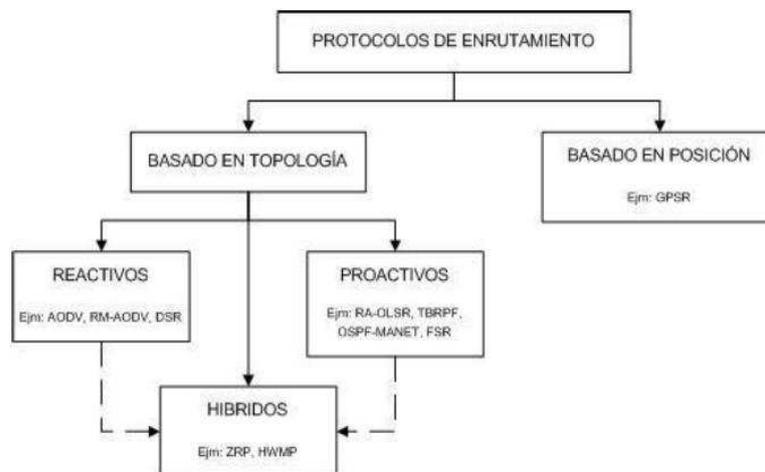


Figura. 2. 9. Clasificación de los protocolos de enrutamiento en WMN

2.9.3.1. Basado en Topología.

Este tipo de protocolos de enrutamiento se encargan de seleccionar la trayectoria de los paquetes, que van desde un nodo origen a uno de destino, basándose en la información topológica. Los protocolos basados en topología se clasifican en:

- a) **Protocolos Reactivos:** también conocidos como protocolos de baja demanda. Sólo determinan la ruta cuando existe una petición, lo cual permite disminuir la sobrecarga del ancho de banda. Entre los más conocidos están: AODV, RM-AODV, DSR.

- b) Protocolos Proactivos:** se encargan de establecer todas las rutas posibles dentro de la red en forma periódica. La búsqueda de rutas en la red es de manera inmediata, ya que se encontrarán continuamente actualizadas, pero a su vez ocasiona sobrecarga en el ancho de banda debido al número de peticiones que se realizan, disminuyendo la capacidad de la aplicación de los usuarios. Los protocolos proactivos que podemos encontrar son: OLSR, TBRPF, OSPF, FSR. OLSR actualmente es visto como uno de los protocolos más prometedores y estables. Es la base de la mayoría de las redes mesh instaladas en Europa, con instalaciones exitosas en Alemania, Austria, Serbia, Inglaterra, España y Portugal y varios países de Latinoamérica.
- c) Protocolos Híbridos:** surgen como una alternativa de los protocolos de enrutamiento basados en topología. Según las características de la red puede ser modificada de manera dinámica, es decir que en caso de que existan redes pequeñas y estáticas, lo más idóneo es utilizar protocolos proactivos. Si la red es grande y con movilidad lo mejor es utilizar protocolos reactivos. Así, con la combinación de rutas bajo demanda y protocolos proactivos se logrará tener un enrutamiento de red robusto. Un ejemplo de protocolo híbrido es el HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol). Es el protocolo establecido como obligatorio por el grupo de trabajo 802.11s, dedicado a redes MESH, aunque se deja la libertad de utilizar opcionalmente otros protocolos, particularmente los basados en OLSR.

2.9.3.2. Basados en Posición

Este tipo de protocolos se encargan de seleccionar las trayectorias, tomando en cuenta la información geográfica empleando algoritmos geométricos. La posición del nodo destino se la va a obtener por medio de un servicio denominado Location Service.

El algoritmo empleado es el Greedy Forwarding, que es un algoritmo simple de búsqueda, donde el paquete que se envía se lo manda hacia el nodo vecino que está más cercano del nodo destino. Aunque trate de acercarse a su destino no asegura que lo pueda alcanzar aunque haya un enlace definido. Ejemplo: GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing).

2.9.4. Capa de transporte [16]

Protocolos para la capa de transporte en la WMN no se han propuesto, pero existen protocolos como el TCP (Transport Control Protocol) que es el más usado en la actualidad en redes de datos basadas en IP, y puede ser implementado aunque tenga sus desventajas en las redes inalámbricas.

Por lo tanto, para optimizar el transporte en las redes WMN es necesario o bien modificar TCP para distinguir entre los motivos de las pérdidas o retardos (retransmisiones, etc.), o proponer totalmente nuevos protocolos de transporte. A pesar de que la segunda opción sea más óptima y permita aplicar protocolos con mayor rendimiento en WMNs, la gran aceptación y asentamiento de TCP hace que la mayoría de propuestas que puedan ser utilizadas en el mundo real sean variaciones de TCP.[16]

2.9.5. Capa de Aplicación

Las WMN son redes que pueden proveer muchos servicios a los usuarios, en ámbito comunitario, metropolitano, campus, hogar, etc. Por las ventajas descritas en el presente proyecto sobre las redes inalámbricas malladas, se aplica el diseño de una red mallada comunitaria, para la parroquia rural Taracoa.

2.10. Seguridad en WMN [11][15][16]

Las WMN se exponen a las mismas amenazas básicas comunes de las redes alámbricas e inalámbricas, es decir, que los mensajes pueden ser interceptados, modificados, retrasados, o mal direccionados.

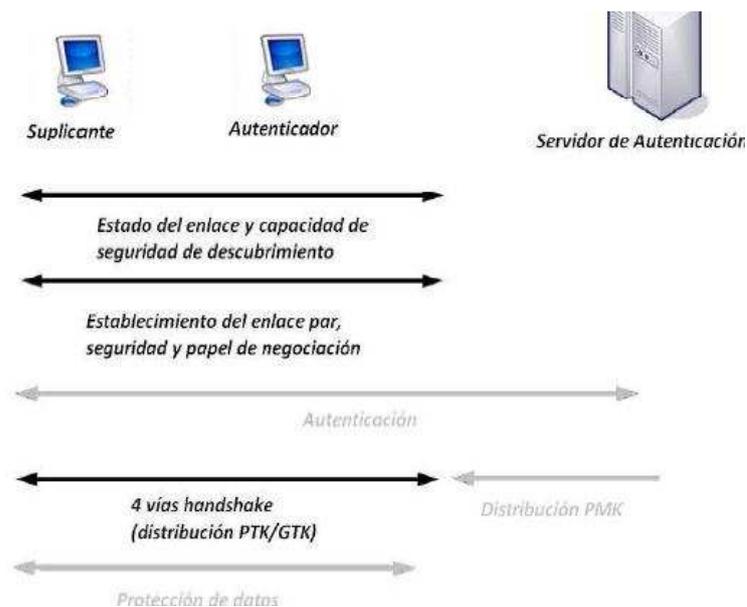
Las redes inalámbricas WLAN se apoyan en dos modos de seguridad que son el acceso WPA (Acceso de Protección al Wifi) y la versión más actualizada WPA2, además de incluir un cifrado compartido configurado en los dispositivos como el cifrado precompartido PSK donde los usuarios pueden ser autenticados con un servidor denominado server AAA. Para este propósito, se utiliza el protocolo extensible de autenticación EAP (Extensible Authentication Protocol).

Los Servicios de seguridad en el futuro serán mucho más restringidos buscando para el usuario privacidad y la confidencialidad del tráfico, sin embargo, la tecnología

actual no es lo suficientemente madura para hacer frente a todas las vulnerabilidades de enrutamiento.

Así, lo establecido en el borrador de 802.11s, con respecto a la autenticación y administración de claves, las estaciones mesh ejecutan el algoritmo Simultaneous Authentication of Equals (SAE). Además de la autenticación mutua, SAE proporciona a 2 estaciones mesh la llave master por parejas (pairwise master key, PMK) que ellos usan para encriptar sus tramas. Como su nombre lo indica, SAE no se basa en una jerarquía de claves como en la tradicional cifrado de 802.11. En lugar de esto, este implementa un enfoque distribuido que ambas estaciones mesh pueden inicializar simultáneamente. Debido a la codificación por parejas, cada enlace es asegurado independientemente. En consecuencia, 802.11s no proporciona encriptación de extremo a extremo. Debido a que el tráfico de difusión debe llegar a todos las parejas autenticadas, una estación mesh requiere actualizar su clave de tráfico de difusión con cada nueva interconexión que establezca.[14]

La [Figura. 2.10.](#) muestra el inicio de la administración de claves, detalla el paso siguiente para obtener un robusto PMK.



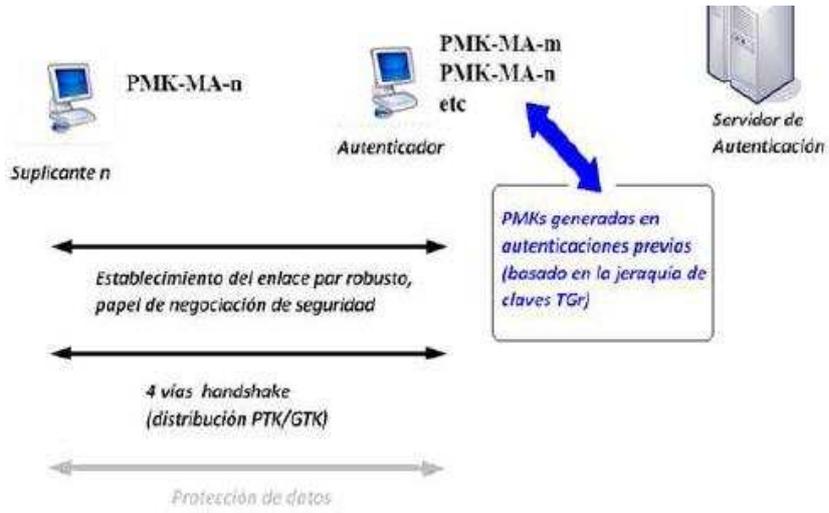


Figura. 2. 10. Esquema de seguridad en 802.11s

CAPITULO III

SERVICIO DE VOZ EN REDES INALAMBRICAS

3.1. Evolución de la aplicación de voz en redes de telecomunicaciones

La motivación de llevar las redes IP de un medio cableado a un inalámbrico fue la libertad de movimiento, cuyo surgimiento ha tenido un crecimiento comercial, aunque presente varias innovaciones en términos de técnicas y velocidades de transmisión así como de topología y QoS¹⁴, ha permitido una diversificación de servicios, entre ellos, la comunicación de voz.

Desde que se popularizó Internet, se hizo atractiva la posibilidad de utilizarla para transmitir voz. Voz sobre IP o VoIP es una tecnología de gestión y enrutamiento de comunicaciones de voz a través de redes de datos (LAN, WAN) basadas en protocolos TCP/IP. Mediante el uso de este protocolo, la red permite el acceso a servicios de telefonía local (entre establecimientos de la misma zona) de forma gratuita, y conexión con la RTPC con ciertas restricciones de llamadas salientes (las llamadas entrantes no tendrán ningún límite) y los costos por llamada son bajos en contraposición a las tarifas de la telefonía convencional de pago por acceso, uso y distancia.[21]

Inicialmente las redes IP no fueron diseñadas para la de voz sino de datos. Caso similar, sólo que análogamente, experimentó telefonía analógica, al ser diseñada desde un

¹⁴ Calidad de Servicio o Quality of Service

principio principalmente para la comunicación de voz y no de datos, para posteriormente presentar un esquema de transmisión de datos comercial, DSL¹⁵. [21]

Sin embargo, no fue sino gracias a la implementación de técnicas avanzadas de digitalización de voz, mecanismos de control y priorización de tráfico, protocolos de transmisión en tiempo real, así como la creación de estándares que permitan QoS en redes IP, que se ha podido crear las condiciones necesarias para el surgimiento y masificación de VoIP. Esto no ha significado la desaparición de las redes de telefonía analógica, sino de la coexistencia de ambas redes mientras se añaden gateways que permiten interconectar ambas tecnologías. [21]

3.2.Importancia de QoS

QoS se refiere a la capacidad de la red para proporcionar un mejor servicio a tráfico seleccionado de varias tecnologías de red, y así procurar que el tráfico de tiempo real de aplicaciones multimedia y de voz reciba la más alta prioridad, el mayor ancho de banda y el menor retardo. [20]

Las tecnologías de calidad de servicio proporcionan la base para el éxito de las aplicaciones multimedia y de voz, especialmente para un ambiente inalámbrico, manteniendo el retardo, jitter y las pérdidas de paquetes dentro de límites aceptables. Los valores correspondientes a lo recomendado por la ITU se describen en la [Tabla. 3.1.](#)

PARAMETROS	VALOR
Delay	No mayor a 150ms
Jitter	No debe ser mayor que 30ms, aunque algunos autores hablan de hasta 50ms.
Ancho de banda	Suficiente para asegurar un número específico de llamadas antes de que ya sea la PBX o la red se congestionen. Ej: G711 80kbps
Packet loss	VoIP no es tolerante a las pérdidas de paquetes, aun con el 1% de paquetes perdidos se puede degradar enormemente una comunicación de voz, así se esté utilizando el códec G.711, en caso de utilizar códecs con mayor tasa de compresión la pérdida es prácticamente intolerable.
Call drop	10.00%

¹⁵ Digital Subscriber line o línea Digital de abonado, es una tecnología para acceder a internet a altas velocidades, sin consumo telefónico ni necesidad de bloquear la línea telefónica.

Tabla. 3. 1. Parámetros y requisitos en VoIP
3.3. Inconvenientes en la transmisión de voz sobre redes inalámbricas

Con la finalización de la norma IEEE 802.11e, ha generado el fortalecimiento del rol de 802.11 en las aplicaciones de VoIP. 802.11e, es una extensión a los estándares 802.11^a/b/g para proporcionar soporte de calidad de servicio (QoS) a aplicaciones de tiempo real o de contenido sensible a retardo tales como voz y video. Este estándar, introduce la función de coordinación híbrida (HCF, Hybrid Coordination Function) como el esquema de control de acceso al medio. Esta especificación es compatible con los sistemas tradicionales de las redes 802.11: la función de coordinación distribuida (DCF, distributed coordination function) y la función de coordinación puntual (PCF, Point Coordination Function). A pesar de lo anterior, la norma IEEE802.11e no se encuentra disponible en las instalaciones actuales de redes inalámbricas ni en los dispositivos móviles como PocktPC y PALMS.[20]

Añadir movilidad a la comunicación de Voz sobre IP ha sido una fuerte motivación para la industria desde los inicio de la misma. Sin embargo, tiene una limitante determinada por QoS, reflejada en la capacidad del sistema para soportar una cantidad determinada de llamadas concurrentes, así como los requerimientos técnicos mínimos para llevar a cabo una conversación fluida. Sin embargo, la necesidad de contar con movilidad dentro de un área de trabajo es esencial y significa un adelanto en términos tecnológicos.

En las redes VoIP comunes (cuyo medio físico es el cable de Ethernet) fue agregar prioridades a los paquetes, de modo que si estos tienen información de voz, poseen una prioridad superior a otros que no poseen dicha clase de información. No obstante, las redes 802.11 añaden nuevos elementos que afectan de manera directa a la comunicación de voz, como mayor latencia y handoffs. Para evitar que una llamada se pierda por la latencia experimentada durante el desplazamiento entre nodos, es necesario que el handoff¹⁶ asociado sea lo más pronto posible.

¹⁶ sistema utilizado en comunicaciones móviles con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente.

3.4.Arquitectura [21]

Instalar una red VoWLAN ¹⁷ implica necesariamente conectarse a una LAN, que cuente con una red VoIP¹⁸ funcional (lo cual sucede en la mayoría de los casos), actuando de esta manera como una extensión a una red cableada. Para poder contar con una red VoWLAN es estrictamente necesario contar con una red LAN en donde funcione la PBX que administre el tráfico VoIP en la red, es decir, que la VoWLAN carece de autonomía absoluta, al depender de una red VoIP cableada tradicional, además de que la QoS se ve afectada de diferentes formas en ambos casos.

Los elementos que participan dentro de un sistema de VoWLAN se describen en la [Tabla. 3.2.](#), cuyo esquema se muestra en la [Figura. 3.1.](#)

El adaptador de red en el teléfono IP del usuario debe conectarse a un punto de acceso en la red antes que el usuario pueda realizar llamadas. Luego de ello, el cliente se registra en la PBX¹⁹. Para ello, el cliente debe enviar ciertos parámetros básicos que deben ser conocidos por ambas partes, tales como el número de extensión y la clave secreta para registrarse. Una vez finalizado el registro, la PBX tiene el conocimiento de la dirección de red donde puede contactar al cliente en caso de una llamada entrante, así como redireccionar las llamadas.

Wireless IP Phone	Muy similar a un teléfono celular, no obstante incluye un adaptador de redes inalámbricas 802.11 para conectarse a una red WLAN. De igual forma como un teléfono IP convencional (Ethernet), es capaz de registrarse en una red VoIP y realizar/recibir llamadas de la red en cuestión, así como a la red PSTN externa. Un número considerable de teléfonos celulares incluyen una tarjeta de red 802.11 en la actualidad. Con ello pueden conectarse a una red WLAN y por consiguiente a una red VoWLAN mediante una aplicación móvil.
Call Manager	Toma el lugar de una PBX para procesar las llamadas dentro de la red, así como la tarea de registrar extensiones, administrar correo de voz, entre otras funciones más complejas. Constituye el corazón del sistema y el controlador del tráfico y direccionamiento de las llamadas.

¹⁷ Voice over Wireless LAN, es una extensión a los sistemas de Voz sobre IP y una alternativa a las comunicaciones de Voz digital y analógica.

¹⁸ se usa para designar el dispositivo que hace de interlocutor entre la red telefónica y la red de computadoras

¹⁹ Private Branch Exchange o central telefónica.

Voice Gateway	Se encarga de servir como interfaz al protocolo de Internet frente a otros sistemas y redes. Sirve de traductor de mensajes y protocolos entre redes VoIP y PSTN. Hoy en día los Gateways de Voz se encuentran integrados en los Call Managers.
Infraestructura WLAN	El medio por el cual se transmiten las llamadas.

Tabla. 3. 2. Elementos de un sistema VoWLAN

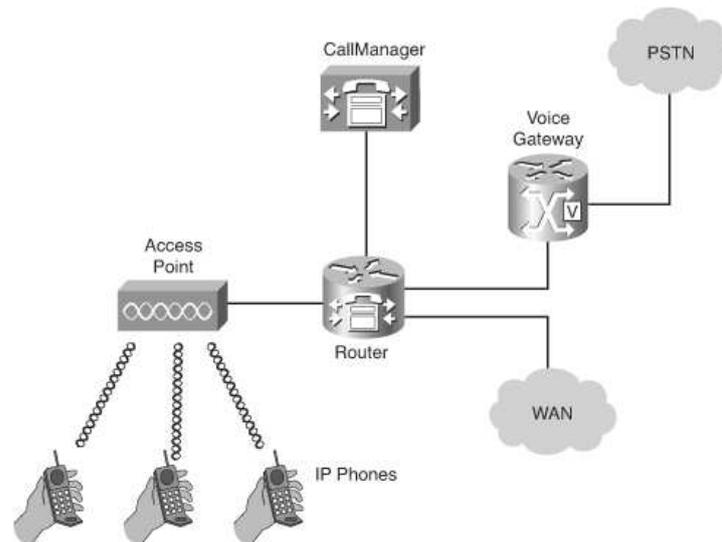


Figura. 3. 1.Arquitectura de una red VoWLAN

Para conectarse a la red pública conmutada se requiere de un mecanismo para convertir las direcciones IP a números telefónicos y viceversa, utilizando el método de señalización adecuado a la red telefónica con la que se está conectando. Frecuentemente se puede requerir instrumentos de tarificación y control de acceso.

Las funciones básicas que debe realizar un sistema de voz sobre IP son la digitalización de la voz, paquetización de la voz y enrutamiento de los paquetes. El algoritmo de codificación se selecciona tomando en cuenta el ancho de banda y la calidad de voz. El codec G.711 tiene una alta calidad de voz, pero el ancho de banda que requiere es alto. El codec G.729 ofrece una buena calidad de voz mientras utiliza un ancho de banda razonable. Este equilibrio entre calidad de voz y ancho de banda razonable es una característica importante.

En general, las ventajas que se obtienen al comprimir la voz con códigos más sofisticados y por la supresión de los períodos de silencio, son contrarrestadas por la necesidad de dotar a cada paquete de voz con la información necesaria para enrutarlo a su

destino, por lo que es difícil estimar exactamente cuál será el ancho de banda requerido por un sistema de VoIP. Sin embargo, este ancho de banda es siempre considerablemente inferior a los 64 kbps requeridos por la codificación PCM (*"Pulse Code Modulation"*) en la telefonía clásica.

3.5.Codecs en Asterisk [24]

Asterisk puede soportar diferentes códecs, cuyas características se detallan a continuación:

3.5.1. G.711 ulaw

El algoritmo es un sistema de cuantificación logarítmica de una señal de audio. Es utilizado principalmente para audio de voz humana. Este sistema de codificación trabaja a una tasa de bits de 64kbps y es usado en EEUU y el Japón.

Utilizar G.711 para VoIP dará la mejor calidad de voz; ya que no usa ninguna compresión y es el mismo códec utilizado por la red RTC y líneas RDSI, suena como si se utilizara un teléfono RDSI normal. También tienen la menor latencia puesto que no hay necesidad de compresión, lo cual cuesta menos capacidad de procesamiento. La desventaja es que utiliza mas ancho de banda que otros códecs, incluyendo todo el overhead de TCP/IP. No obstante, aumentando el ancho de banda, eso no debería ser un problema.

3.5.2. G.711 alaw

Es un sistema de cuantificación logarítmica de señales de audio, usado habitualmente con fines de compresión en aplicaciones de voz humana, a una tasa de bits de 64kbps. Está estandarizada por la ITU-T y es usado en Europa.

3.5.3. G.723

Codifica la voz en una cadena de datos de 30ms (240 muestras en total). Cada frame puede ser de 24 o 20 bytes de longitud, lo que hace a la cadena de datos tanto de 6.4kbps o 5.3kbps. Este códec está cubierto por una variedad de patentes, lo que significa que debe ser pagada una patente antes de poder ser utilizado comercialmente.

3.5.4. G.726

Es un códec ITU ADPCM que tienen las siguientes características: 16/24/32/40kbps, buena calidad y baja carga de procesador. Normalmente se usa en modo 32kbps.

3.5.5. G.729

Es un algoritmo de compresión de datos de audio para voz que comprime audio de voz en tramas de 10 ms. La música o los tonos tales como DTMF o de fax no pueden ser transportados confiablemente, lo que implica obligatoriamente el utilizar G.711 o métodos de señalización fuera de banda para transportar esas señales.

G.729 opera a una tasa de bits de 8kbps, pero existen extensiones, las cuales suministran también tasas de 6.4kbps y de 11.8kbps para peor o mejor calidad en la conversación respectivamente, es por eso que se aplica a VoIP por sus bajos requerimiento es ancho de banda. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a menor complejidad afecta la calidad de la conversación.

3.5.6. GSM

GSM emplea una modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) obtenida a partir de una modulación MSK que es un tipo especial de FSK. Para el acceso en la interfaz radio o Abis se utiliza el sistema TDMA de banda estrecha (Time Division Multiple Access) entre la estación base y el teléfono celular utilizando canales de radio dúplex. Para minimizar las fuentes de interferencia y conseguir una mayor protección se utiliza frequency hopping o salto en frecuencia entre canales, con una velocidad máxima de 217 saltos/s. y siempre bajo mandato de la red. Una llamada de voz utiliza un codificador GSM específico a velocidad total de 13Kbits/s, posteriormente se desarrolló un códec a velocidad mitad de 6,5 kbits/s que permitirá duplicar la capacidad de los canales TCH, se denomina FR (Full Rate) y HR (Half Rate).

3.5.7. iLBC

Internet Low Bit rate Codec; es un códec para voz apropiado para comunicaciones robustas sobre VoIP. Este códec está diseñado para ahorrar ancho de banda y resulta en un carga útil de 13.33 Kb/s usando tramas de 30 ms y en 15.20 Kb/s usando tramas de 20 ms.

El códec es capaz de enfrentar la eventualidad de que se pierdan tramas, lo cual ocurre cuando se pierde la conexión o se retrasan los paquetes IP. El algoritmo iLBC, usa una codificación de predicción-lineal y bloques-independientes (LPC), este algoritmo tiene soporte para dos tamaños básicos de tramas: 20 ms a 15.2 Kb/s y 30 ms a 13.33 Kb/s.

3.6.Desempeño de una red VoIP en WMN

Debido a que existe una variedad de experiencias reales basadas en el análisis del desempeño de VoIP en redes inalámbricas, se ha tomado como referencia los resultados para identificar parámetros generales en ambientes simples con un solo AP, hasta más complejos como un conjunto de estos que son las redes inalámbricas malladas.

a) Evaluación experimental de la capacidad de IEEE 802.11b para soporte de VoIP,²⁰

El proyecto fue montado con 6 clientes de diferentes modelos y marcas 802.11b, conectados inalámbricamente a un punto de acceso y éste a su vez conectado por su interfaz Ethernet a 100Mbps con el servidor de VoIP.

Según las pruebas realizadas bajo los 3 codecs: G-711, G-723, G-729, han concluido de forma general lo que se detalla en la siguiente [Tabla. 3.3.](#)

Códec	Limite #llamadas concurrentes al AP	Empieza a degradarse la calidad de voz	Cae las llamadas
G.711	12	13-17	18 en adelante
G.729	14	15-17	18 en adelante
G.723	21	22-25	26 en adelante

Tabla. 3. 3. Número máximo de llamadas simultáneas a un AP en función de diferentes códecs, para determinar la calidad de VoIP en una red inalámbrica.

Los resultados demuestran que el aumento del jitter se hace de un modo lineal, de poca pendiente y sin sobrepasar los límites, el retardo es muy pequeño y cercano a cero hasta cierto punto, donde se tienen un cambio abrupto de entre 5ms a varios segundos. Por lo tanto es muy importante poner un límite en el número de llamadas que puedan

²⁰ http://www.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/item/1012/1/evaluacion_exp_voip.PDF,

establecerse por cada punto de acceso, ya que al superar ocasionará no solo una pérdida de calidad, sino la desconexión de las llamadas que se están cursando a través del punto de acceso. En general el desempeño de la red cae aproximadamente al 30%. [20]

a) Redes Inalámbricas para zonas rurales²¹

El proyecto fue implementado bajo la tecnología WMN, en el que han comprobado que en determinadas circunstancias estas comunicaciones de voz experimentan ciertos problemas de latencia y se escucha entrecortado, por lo que han puesto en estudio la implementación de una arquitectura de calidad de servicio (QoS) que solucionase ese tipo de incidencias.

Así, en dicho estudio han comparado dos modelos y sus respectivas opciones: el de servicios integrados o IntServ (INTegrated SERVices) y el de servicios diferenciados o DiffServ (DIFFerentiated SERVices). El Int- Serv realiza una reserva previa de recursos antes de establecer la comunicación entre dos puntos. Si todos los nodos que forman el camino entre esos dos puntos pueden comprometer los recursos necesarios para proporcionar la calidad requerida entonces la comunicación es aceptada. Así, cada nodo tratará de forma particular a cada paquete de ese flujo hasta que termine la conexión.[1]

El DiffServ, propone que diferentes clases de tráfico puedan ser distinguidas en cada nodo, recibiendo un trato más o menos prioritario a partir de esa diferenciación. Los nodos periféricos a la red se encargan de clasificar cada paquete entrante en una de las clases definidas para que los ruteadores que recorra le den el tratamiento apropiado; se produce por lo tanto una agregación de flujos. De esta forma, ante el caso de que la red se encuentre congestionada, se llega a obtener un resultado preferente para el tráfico prioritario frente a los demás. [1]

Por lo tanto, dicha experiencia recomienda la inclinación hacia el DiffServ, que no se ciñe a las garantías dadas a cada microflujo sino a la prioridad relativa de una determinada clase de servicio. Es decir, se opta por el uso de las clases PRIO, que, aunque contempla algunas limitaciones como la de no proteger a los tráficos menos prioritarios de un uso abusivo de la prioridad por parte de los más prioritarios y un ligero empeoramiento en la

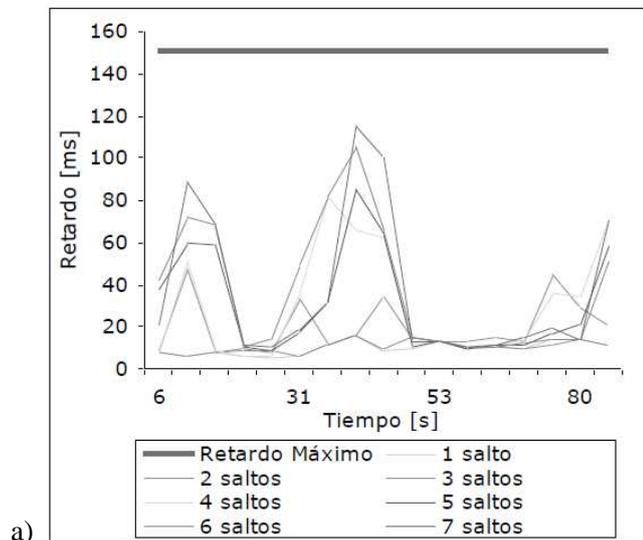
²¹ http://isf.uc3m.es/descargas_publicas/Documentacion_Cooperacion/TICs/Libro_Redес_Inalambricas_para_zonal_Rurales.pdf

conformación del tráfico, permite asegurar su funcionamiento, aún cuando se produce una disminución en las prestaciones de los enlaces. [1]

b) Capacidad de una red inalámbrica en malla, para el transporte de voz sobre IP y datos en un entorno rural²²

Este proyecto analiza la efectividad que tiene el transporte de Voz sobre IP en las redes inalámbricas en malla fijas, cuyo diseño fue implementado para una de las microredes del Proyecto EHAS Silvia, conformado por 15 nodos de transporte y 9 clientes.

En un escenario de llamadas a múltiples saltos, indica que los parámetros de calidad de la voz (retardo, jitter y pérdidas de paquetes) aumentan de acuerdo con la cantidad de saltos presentes en la transmisión, sin exceder a los límites permitidos por la UIT, como se muestra en las gráficas de la [Figura. 3.2](#).



²² www.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/item/1723/1/articulo4.pdf

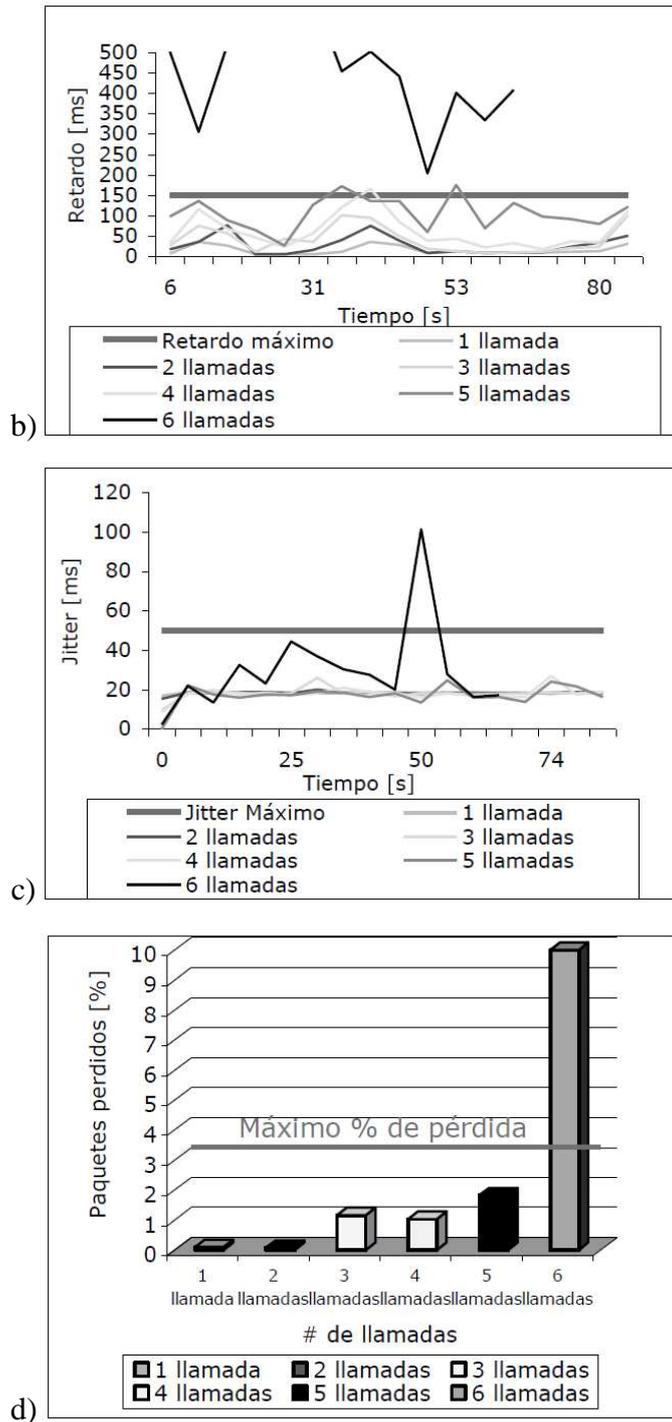


Figura. 3. 3. Parámetros de QoS para llamadas VoIP en una red inalámbrica con llamadas simultáneas a un solo nodo: a) Throughput recibido, b) retardo, d) jitter, e) paquetes perdidos.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED WMN

4.1. Justificación e importancia

El acceso fiable, asequible y fácil a los servicios de telecomunicaciones, se identifica como clave para el desarrollo social y económico de cualquier nación. Así entonces, la solución es considerar a las telecomunicaciones como una herramienta fundamental que permita el desarrollo de los pueblos, de tal manera que orienten a los ciudadanos al uso de las redes y su contenido para obtener conocimiento desarrollando competencias, con lo que se va a disminuir la desigualdad y abre nuevas posibilidades para el crecimiento social.

Además, los problemas de acceso a sitios tan remotos dificultan el mantenimiento preventivo y correctivo de estos sistemas y por lo tanto su funcionamiento, ya que en el momento que se presenta una falla, la comunicación se interrumpe por completo puesto que el sistema no tienen rutas alternas de envío de información y el tiempo de reparación de estas fallas pueden tardar varios días.

La alta dispersión de la población y la baja capacidad de pago que se presentan en las áreas rurales limitan la implementación de los típicos sistemas de comunicación, ya que se requiere de una alta demanda para recuperar el valor de las inversiones realizadas.

Pese a que en el momento existen algunas soluciones de interconexión (tecnologías satelitales) éstas no satisfacen completamente las necesidades requeridas, ya que se necesitan inversiones muy grandes que no pueden asumir las economías rurales y en otros

casos carecen de las capacidades necesarias para llegar hasta los puntos más lejanos con grandes anchos de banda y sin retardos.

Es por esto, que las redes inalámbricas en malla o WMN²³, representan una alternativa viable para solucionar estos problemas de comunicación, por rapidez de despliegue, facilidad de instalación, flexibilidad, autoconfiguración, autoreparación, escalabilidad, redundancia, etc.

Si bien es cierto, que la evolución de las tecnologías IEEE 802.15.4²⁴, 802.11X²⁵ y 802.16²⁶ pueden ser una solución, sin embargo la tecnología IEEE 802.11x proporciona una mejor solución de interconexión inalámbrica debido a su amplia acogida en el mercado, fácil configuración y despliegue, bajos costos de infraestructura y facilidad de expansión.

4.2.Situación general

La Provincia de Orellana tiene una superficie de 21691km², y está limitada: al norte con la Provincia de Sucumbíos, al sur con las Provincias de Pastaza y Napo, al este con el límite a Perú, y al oeste con la Provincia de Napo, como se observa en la [Figura. 4.1](#). Uno de sus cantones es Francisco de Orellana, donde se encuentra la Parroquia Rural Taracoa.



Figura. 4. 1. Mapa político de la Provincia de Orellana

²³ WMN.- Wireless Mesh Network o Red Inalámbrica Mallada;

²⁴ IEEE 802.15.4.-Estándar Wireless Personal Area Network o WPAN

²⁵ 802.11X.- familia IEEE 802.11

²⁶ 802.16.- Estándar WiMAX

Para tener una información global en cuanto a ciencia y tecnología, la página web de **ECUADOR EN CIFRAS**²⁷, ha proporcionado una información estadística para la Provincia de Orellana entre el año 2008-2010, detallada en la [Tabla. 4.1.](#), cuya comparación entre: acceso a internet, uso de internet, tenencia de computadora, uso de computadora, tenencia de Tv, tenencia de línea telefónica, de los sectores rurales y urbanos, se muestran en las gráficas de la [Figura. 4.2.](#)

Esto refleja una notable brecha tecnológica entre las zonas urbanas y rurales, ya que los servicios de telecomunicaciones como el internet y telefonía son escasos, costosos, deficientes e incluso nulos para las zonas rurales. El desarrollo de la infraestructura vial en las zonas urbanas facilitan el proceso de conexión, sin embargo en las zonas rurales, su eficiencia disminuye debido a la dificultad de sobrepasar múltiples obstáculos debido a la geografía de dichas zonas, sumándose a la falta de demanda.

En la actualidad ha existido un gran desarrollo de internet en las áreas urbanas en comparación de lo que fue en el 2008, con la multiplicación de los denominados “café-net” y el servicio por ADSL²⁸ proporcionado por la CNT²⁹, aunque sigue siendo inexistente dicho servicio en las zonas rurales, como lo es en la Parroquia de Taracoa.

Lo que se demuestra en forma general en la [Figura. 4.3.](#) que para la Provincia de Orellana, del total de población con tenencia a un televisor, el 21.14% tiene un computador, de los que el 5% acceden a internet, mientras que para telefonía corresponde a un 26%. Esto quiere decir, que la población de la provincia de Orellana prefiere pagar por un servicio de televisión, sin invertir en otros servicios tecnológicos de actualidad.

a) ACCESO A INTERNET

INDICADOR	PROVINCIA	URBANO	RURAL
SI TIENE 2008	120,64	120,64	
NO TIENE 2008	20.081,32	6.639,29	13.442,03
SI TIENE 2009	574,00	574,00	
NO TIENE 2009	25.340,00	7.777,00	17.563,00
SI TIENE 2010	1.911,00	1.911,00	
NO TIENE 2010	22.372,00	6.394,00	15.978,00

²⁷ <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/main.html>

²⁸ Asymmetric Digital Subscriber Line o Línea de abonado digital asimétrico.

²⁹ Corporación Nacional de Telecomunicaciones

b) USO DE INTERNET

INDICADOR	PROVINCIA			RURAL	URBANO
	H-M	H	M	H-M	H-M
SI USÓ 2008	9.414,62	4.758,97	4.655,64	3.717,12	5.697,50
NO USÓ 2008	84.572,66	43.689,67	40.882,99	65.628,20	18.944,46
SI USÓ 2009	7.248,00	3.198,00	4.050,00	1.707,00	5.541,00
NO USÓ 2009	101.192,00	53.427,00	47.766,00	75.846,00	25.346,00
SI USÓ 2010	22.110,00	10.111,00	11.999,00	9.109,00	13.001,00
NO USÓ 2010	94.710,00	50.958,00	43.752,00	74.024,00	20.685,00

c) TENENCIA DE COMPUTADORAS

INDICADOR	PROVINCIA	URBANO	RURAL
SI TIENE 2006	1.835,50	1.243,46	592,04
NO TIENE 2006	24.789,65	7.435,54	17.354,10
SI TIENE 2007	908,06	718,12	189,93
NO TIENE 2007	20.534,39	5.535,82	14.998,56
SI TIENE 2008	1.741,05	1.539,04	202,01
NO TIENE 2008	18.460,90	5.220,88	13.240,02
SI TIENE 2009	1.965,00	1.231,00	734,00
NO TIENE 2009	23.949,00	7.121,00	16.828,00
SI TIENE 2010	3.727,00	2.739,00	987,00
NO TIENE 2010	20.556,00	5.565,00	14.991,00

d) USO DE COMPUTADORA

INDICADOR	PROVINCIA			RURAL	URBANO
	H-M	H	M	H-M	H-M
SI USÓ 2008	19.184,84	10.279,45	8.905,39	10.381,06	8.803,78
NO USÓ 2008	74.802,43	38.169,19	36.633,24	58.964,26	15.838,17
SI USÓ 2009	25.803,00	12.081,00	13.722,00	14.887,00	10.916,00
NO USÓ 2009	82.637,00	44.544,00	38.093,00	62.666,00	19.971,00
SI USÓ 2010	40.881,00	21.159,00	19.722,00	24.855,00	16.025,00
NO USÓ 2010	75.939,00	39.910,00	36.029,00	58.278,00	17.661,00

e) TENENCIA DE TELEVISOR

INDICADOR	PROVINCIA	URBANO	RURAL
NO TIENE 2006	11.376,68	993,21	10.383,47
SI TIENE 2006	15.248,47	7.685,79	7.562,68
SI TIENE 2007	11.256,70	5.423,72	5.832,98
NO TIENE 2007	10.185,75	830,23	9.355,52
SI TIENE 2008	13.532,60	6.524,09	7.008,50
NO TIENE 2008	6.669,37	235,84	6.433,53
SI TIENE 2009	16.340,00	7.159,00	9.181,00
NO TIENE 2009	9.574,00	1.192,00	8.382,00

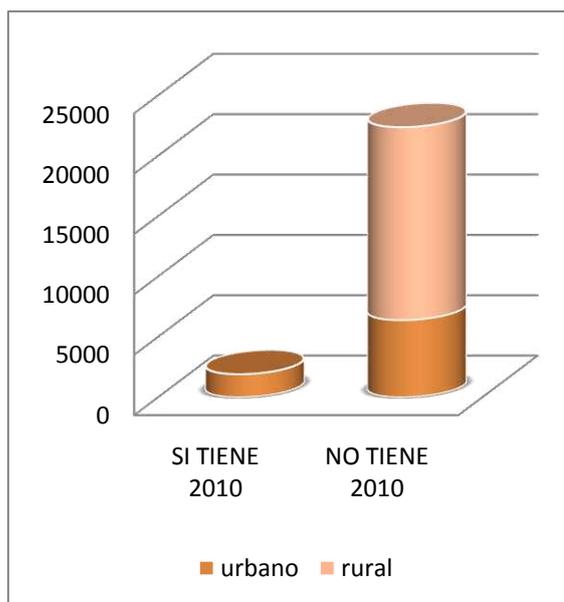
NO TIENE 2010	6.660,00	821,00	5.839,00
SI TIENE 2010	17.623,00	7.484,00	10.139,00

f) TENENCIA DE LÍNEA TELEFONICA

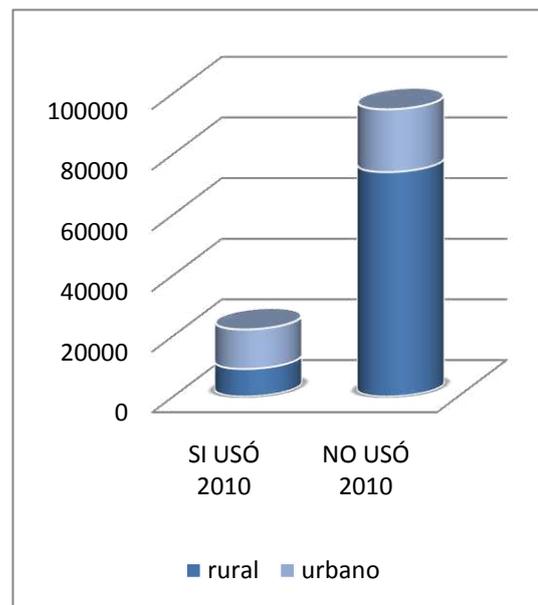
INDICADOR	PROVINCIA	URBANO	RURAL
NO TIENE 2006	24.133,60	6.187,45	17.946,14
SI TIENE 2006	2.491,55	2.491,55	
SI TIENE 2007	1.328,99	1.328,99	
NO TIENE 2007	20.113,46	4.924,95	15.188,50
SI TIENE 2008	1.911,93	1.911,93	
NO TIENE 2008	18.290,03	4.848,00	13.442,03
SI TIENE 2009	2.456,00	2.088,00	367,00
NO TIENE 2009	23.458,00	6.263,00	17.196,00
NO TIENE 2010	19.566,00	3.872,00	15.695,00
SI TIENE 2010	4.717,00	4.433,00	284,00

Tabla. 4. 1. Información estadística, Ciencia y Tecnología, Provincia de Orellana a) Acceso a internet, b) uso de internet, c) Tenencia de computadora, d) Uso de computadora, e)tenencia de Tv, f) tenencia de línea telefónica.

a)



b)



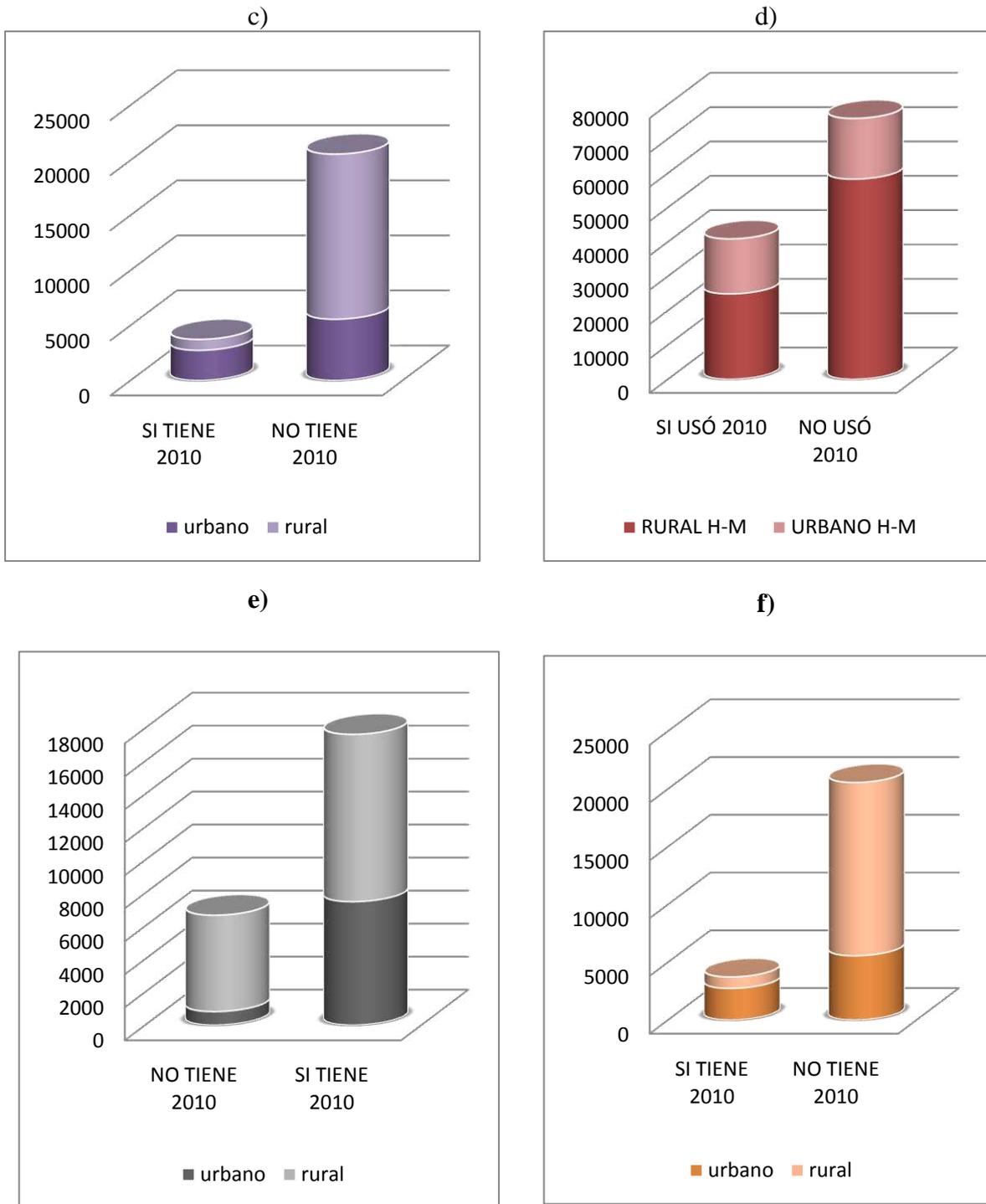


Figura. 4. 2. Gráficas comparativas del uso de los servicios de telecomunicaciones entre el sector urbano y rural de la Provincia de Orellana a) Acceso a internet, b) uso de internet, c) Tenencia de computadora, d) Uso de computadora, e)tenencia de Tv, f) tenencia de línea telefónica.

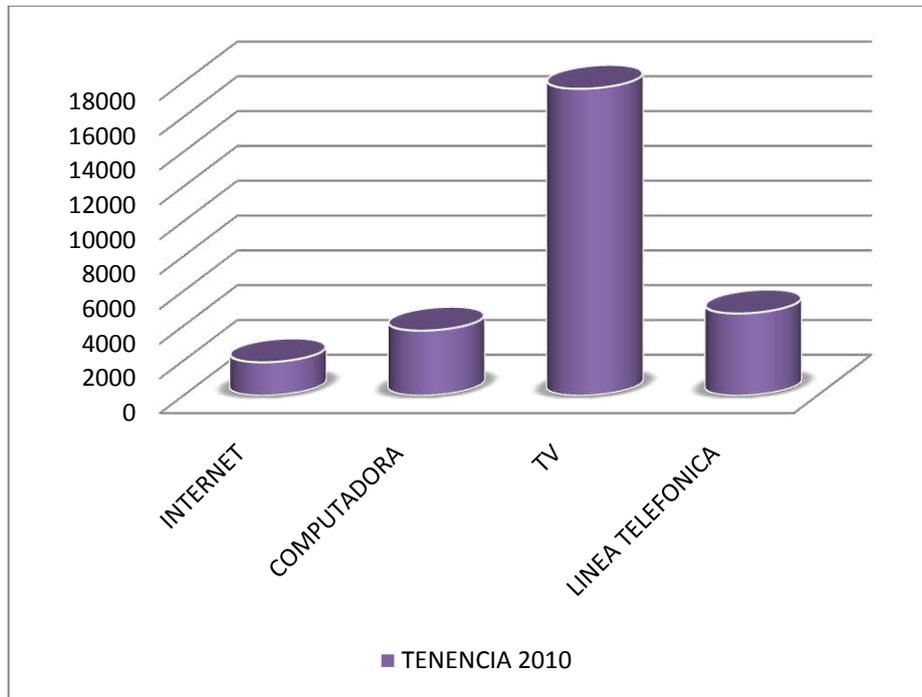


Figura. 4. 3. Comparación entre servicios de telecomunicaciones para la provincia de Orellana

4.3. Parroquia Rural Taracoa

Como se observa en el mapa proporcionado por el IGM³⁰ ([Figura. 4.4.](#)), la parroquia de Taracoa se ubica al sur-este del cantón Puerto Francisco de Orellana y se encuentra a 30Km de éste. Taracoa está limitada al norte con el río Napo, al este por la Cabecera Cantonal Alejandro Labaka, al oeste por El Dorado, y al sur por Dayuma.

³⁰ Instituto Geográfico Militar



Figura. 4. 4. Parte del Mapa del cantón Francisco de Orellana; a la izquierda se encuentra la ciudad de El Coca y a la derecha Taracoa.

Según el estudio de campo realizado, se observa que la parroquia geográficamente es grande, sin embargo, las únicas zonas pobladas se extienden a lo largo de la carretera, y cabecera parroquial, como se muestra en la [Figura. 4.5.](#)

Las gráficas de la [Figura. 4.6.](#), detalla las condiciones de vida de la parroquia, formada de una sola calle asfaltada y varios pasajes empedrados que empeora las condiciones de acceso. La mayoría de las casas son de madera, y existe una antena de la operador Claro que proporciona servicio de telefonía celular e internet con modem portátil para los que pueden acceder a este servicio.

La Parroquia también consta de una central telefónica de acceso satelital, de capacidad de 400 líneas con 200 abonados solamente. En la actualidad la CNT de la ciudad de El Coca, está trabajando en la instalación de fibra óptica, cuyo anillo pueda reemplazar al acceso de la central, brindando mayor capacidad y la integración de servicios en el área como internet mediante ADSL.

Debido a la reciente ejecución del censo, no se ha podido obtener datos desglosados a nivel de cantones, ni parroquias. Por esta razón, se ha tomado en consideración los resultados obtenidos en el censo del 2001, proporcionado por la página web del INEC³¹. Así entonces, en la [Tabla. 4.2.a\),b\).](#), se muestran las cifras de la población en función de grupos de edad, género, y centros poblados de la parroquia, cuyo total es de 4041 habitantes, con una distribución en sectores de forma irregular desde una cantidad muy baja de 3 hasta 613 en las zonas más pobladas, predominando una población joven entre los 20 a 39 años.

³¹Instituto Nacional de Estadística y Censo.-
http://www.inec.gob.ec/web/guest/descargas/basedatos/cen_nac/cen_pob_nac_2001?doAsUserId=p%252Bx9vuBVM9g%253D

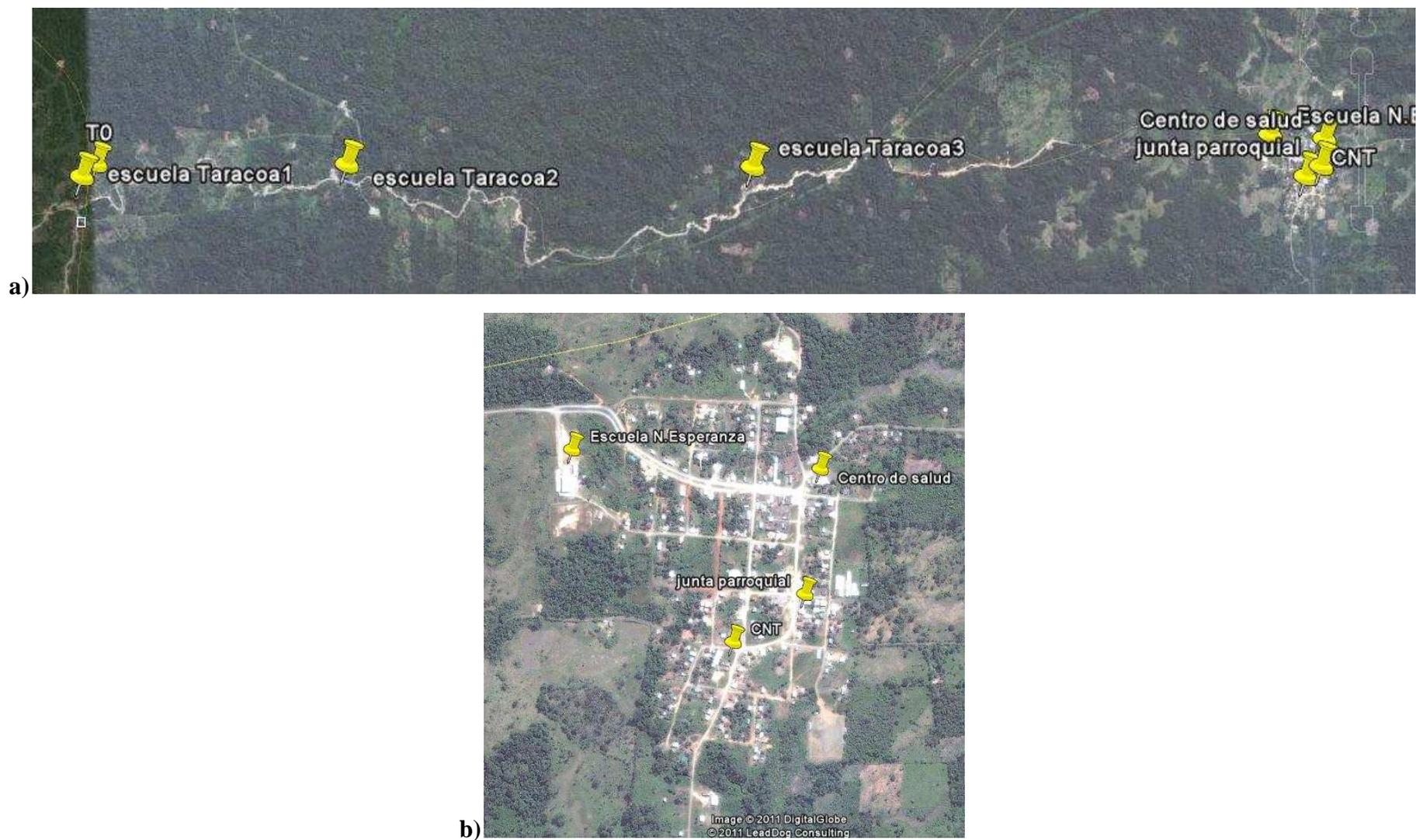


Figura. 4. 5. a) Mapa geográfico de Taracoa, b) Centro poblado de Taracoa



Figura. 4. 6. Condiciones de vida del poblado de Taracoa.

a)

GRUPOS	TARACOA		
	TOTAL	H	M
Menor de 1 año	112	63	49
De 1 a 4 años	426	228	198
De 5 a 9 años	502	241	261
De 10 a 14 años	456	218	238
De 15 a 19 años	338	178	160
De 20 a 24 años	379	241	138
De 25 a 29 años	340	241	99
De 30 a 34 años	364	262	102
De 35 a 39 años	291	207	84
De 40 a 44 años	226	155	71
De 45 a 49 años	178	120	58
De 50 a 54 años	132	90	42
De 55 a 59 años	78	50	28
De 60 a 64 años	58	25	33
De 65 a 69 años	48	20	28
De 70 a 74 años	33	22	11
De 75 a 79 años	23	9	14
De 80 a 84 años	21	11	10
De 85 a 89 años	11	2	9
De 90 a 94 años	14	4	10
De 95 y mas	11	3	8
Total	4,041	2,390	1,651

b)

NOMBRE DE LA LOCALIDAD	VIVIENDA	POBLACION
COM. ATAHUALPA	19	118
COM. EL EDEN	6	26
COM. HUAMAYACU	45	197
COM. RUMIYACU	10	47
COM. SAN CARLOS	7	28
COM. SAN ROQUE	23	119
COM. SANY ISLA	20	155
COM. YUTURI	18	72
COM. ALEJANDRO LA BACA	15	180
COM. RIO INILLAMA	15	39
COM. TERERE	19	96
KM 14 PRECOOPERATIVA JESUS DEL GRAN PODER	12	37
KM 18 PRECOOPERATIVA 6 DE OCTUBRE	8	37
LA ISLA	1	8
LLAHUANGA	5	3
PARATAYACU	23	126
POMPEYA CENTRO	23	133

POMPEYA LUNCHI	21	613
POMPEYA PALOMETA	21	138
PRECOOP. 24 DE AGOSTO	30	133
PRECOOP. 24 DE DICIEMBRE	19	24
PRECOOP. 27 DE JULIO	24	92
PRECOOP. 27 DE JULIO	2	0
PRECOOP. CENTINELA DE LA PATRIA	18	82
PRECOOP. FLOR DEL PANATANO	3	12
PRECOOP. HERMANO MIGUEL	16	48
PRECOOP. NUEVA JUVENTUD	26	76
PRECOOP. NUEVOS HORIZONTES	60	228
PRECOOP. NUEVOS HORIZONTES	11	29
PDRECOOP. PERLA DE LOS RIOS	5	19
PRECOOP. SABIANGO	14	64
PRECOOP. SAN VICENTE	11	0
PRECOOP. UNION ESMERALDEÓA	20	70
PRECOOP. UNION PALTENSE	13	26
PRECOOP. UNION Y PATRIA	30	103
PRECOOP. VOLUNTAD DE DIOS	12	28
PROVIDENCIA	12	30
RCTO. LA MERCED	19	62
SAN FRANCISCO DE CHICTA	10	33
	666	3331

Tabla. 4. 2. a) Población por sexo y grupos de edad de la Parroquia rural de Taracoa, b) Listado de centros poblados de la Parroquia rural de Taracoa.

Además, se observa en las estadísticas de la [Tabla. 4.3](#), que la población tiene un nivel de instrucción hasta la secundaria con un mínimo porcentaje, reflejando una tasa de analfabetismo aproximadamente del 9.37% cuyo valor es influenciado en su mayoría por el género femenino, quienes representan una cifra baja a comparación del género masculino en cuanto al nivel de instrucción, años aprobados y asistencia a un establecimiento de enseñanza.

Dichas condiciones reflejan una población inactiva de 1428 cercana a la activa de 1792, formada por su mayoría de solo estudiantes y población con actividad de quehaceres domésticos. Esto quiere decir, que todos los habitantes viven de la ganadería y de la agricultura, sin embargo parte de ellos trabajan como obreros eventualmente en constructoras y petroleras.

a) CONDICION DE ALFABETISMO												
PARROQUIA	TOTAL			ALFABETA			ANALFABETA			NO DECLARADA		
	TOTAL	H	M	TOTAL	H	M	TOTAL	H	M	TOTAL	H	M
Taracoa	3001	1858	1143	2742	1766	976	257	92	165	2	-	2

b) NIVEL DE INSTRUCCIÓN Y AÑOS APROBADOS																	
PARROQUIA	TOTAL			NINGUNO		CENTRO DE ALFABETIZACION		PRIMARIO				EDUCACION BASICA					
								0-3		4-6		0-4		5-7		8-10	
	TOTAL	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Taracoa	3503	2099	1404	113	184	6	10	351	293	667	481	62	101	24	20	9	8

PARROQUIA	SECUNDARIO				EDUCACION MEDIA		CICLO POSTBACHILLER		SUPERIOR				POSTGRADO		NO DECLARADO	
	0-3		4-5		0-3		0-2		0-3		4 Y MAS					
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Taracoa	182	96	297	78	18	14	12	-	54	6	110	16	8	1	186	96

c) ASISTENCIA A ESTABLECIMIENTOS DE ENSEÑANZA												
PARROQUIA	TOTAL			SI ASISTE				NO ASISTE		NO DECLARADA		
	TOTAL	H	M	TOTAL	H	M	TOTAL	H	M	TOTAL	H	M
Taracoa	1238	608	630	852	424	428	291	134	157	95	50	45

d) TIPO DE ACTIVIDAD												
PARROQUIA	ACTIVA				INACTIVA							NO DECLARADO
	TOTAL	OCUPADOS	DESOCUPADOS		TOTAL	SOLO QUEHACERES DOMESTICOS	SOLO ESTUDIANTES	SOLO JUBILADOS	SOLO PENSIONISTAS	IMPEDIDO PARA TRABAJAR	OTROS	
			CESANTES	BUSCAN TRABAJO POR PRIMERA VEZ								
Taracoa	1792	1760	32	-	1428	486	853	3	1	47	38	283

Tabla. 4. 3. a) Población de 10 años y mas, por condición de alfabetismo y sexo, b) Población de 5 años y más, por nivel de instrucción, años aprobados y sexo, c) Población de 5 a 18 años, por asistencia a establecimientos de enseñanza y sexo, d) Población de 5 años y más, por tipo de actividad.

4.4.Estado actual de los servicios de telecomunicaciones en la Parroquia Taracoa

4.4.1. Encuesta

Para determinar el estado actual de los servicios de internet en la parroquia, se realiza una encuesta, cuyos objetivos son los siguientes:

- Analizar el porcentaje de accesibilidad a los servicios de internet y telefonía.
- Conocer la localización de un centro de cómputo para acceder a internet.
- Conocer el nivel de aceptabilidad en cuanto al rendimiento del servicio de internet.
- Determinar el conocimiento de un nuevo servicio como VoIP.
- Identificar la disponibilidad de la población en cuanto a una implementación de servicio de internet.

Debido a que es imposible e indeseable medir las variables de interés en toda la población, ya que puede resultar inviable en tiempo y económicamente, se utiliza un muestreo de naturaleza aleatoria y simple, que se caracteriza por que otorga la misma probabilidad de ser elegidos a todos los elementos de la población.

Para diseñar la muestra se recomienda utilizar para los cálculos estadísticos un nivel de confianza del 95%, lo que en las tablas de una distribución normal ([Tabla. 4.4](#)), corresponde a una desviación (Z_c) de 1.96. El nivel de confianza es lo suficientemente elevado para poder confiar en los resultados estadísticos, mientras que si fuera bajo podría sesgar los resultados, mientras que un nivel más alto disminuiría la precisión de los datos estadísticos.

Nivel de confianza	99.7 %	99%	98%	96%	95.45%	95%	90%	80%	68.27%	50%
Z_c	3.00	2.58	2.33	2.05	2.00	1.96	1.645	1.28	1.00	0.674

Tabla. 4. 4. Valores de confianza

La [Ecuación. 4.1](#), permite determinar el tamaño de muestra, cuyos parámetros y resultados se representa en la [Tabla. 4.5](#).

$$n = \frac{Z_c^2 * N * p * q}{e^2 * N + Z_c^2 * p * q} \quad \text{Ecuación. 4. 1.}$$

Donde:

- ✓ **Zc**: correspondiente al nivel de confianza elegido.
- ✓ **p**: probabilidad de ocurrencia.
- ✓ **q**: probabilidad de no ocurrencia.
- ✓ **e**: error máximo.
- ✓ **N**: tamaño de la población

zc	N	p	q	e	#muestras
1.96	4041	0.5	0.5	0.07	186.933207

Tabla. 4. 5. Numero de encuestas a realizar.

La encuesta se realiza al Colegio Nacional La Esperanza (159 alumnos), por ser la única institución de la zona poblada, además de que recoge la mayoría de los jóvenes de las diferentes áreas de Taracoa, quienes más están relacionados con el conocimiento de los servicios actuales de telecomunicaciones, el resto de la muestra se tomó al azar a cualquier habitante de la zona.

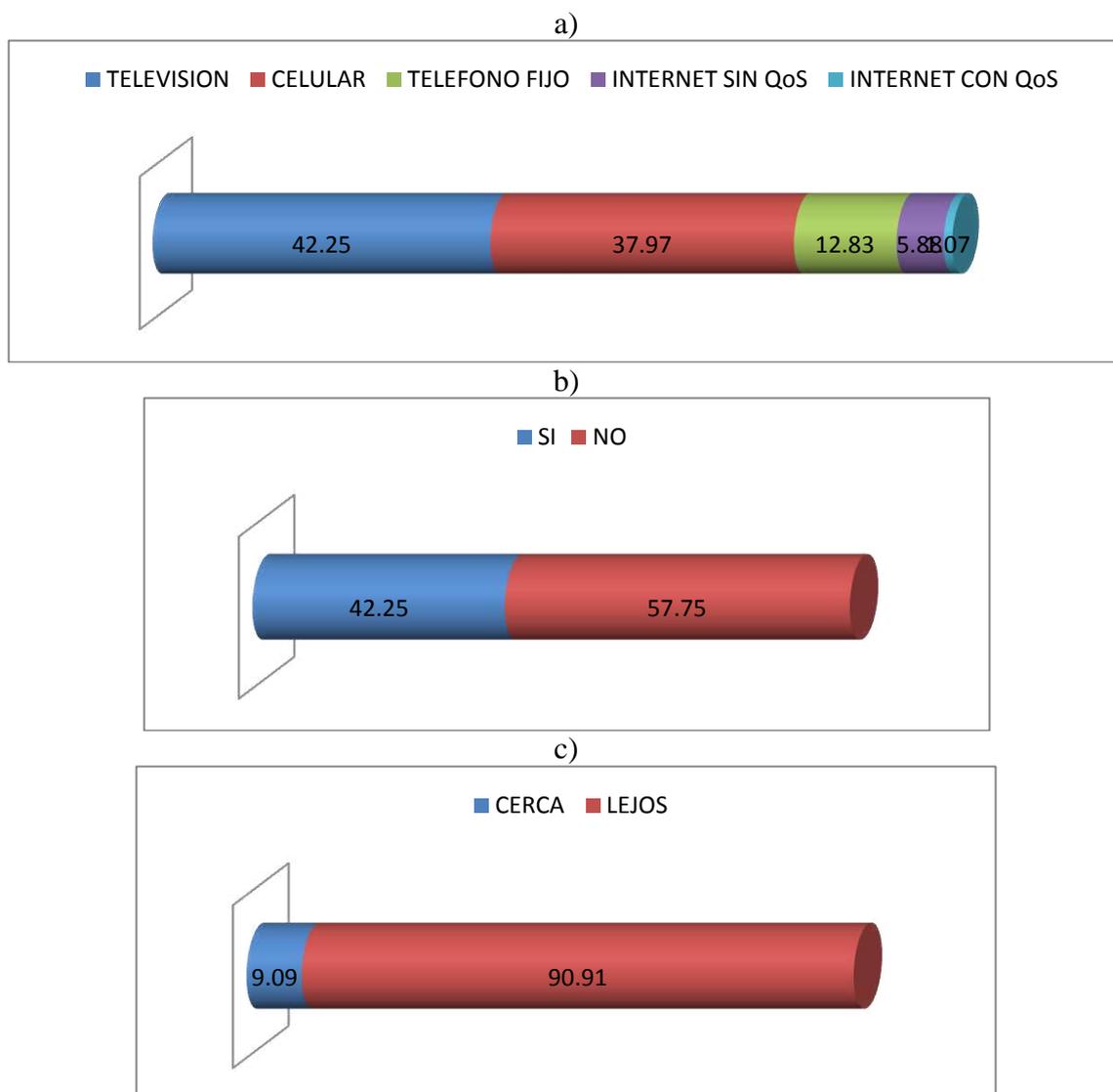
4.4.2. Análisis de resultados de la encuesta

Según los objetivos mencionados en la sección **4.4.1.** se ha elaborado un banco de preguntas, cuyo esquema y tabulación de resultados se muestra en el **Anexo #1.**

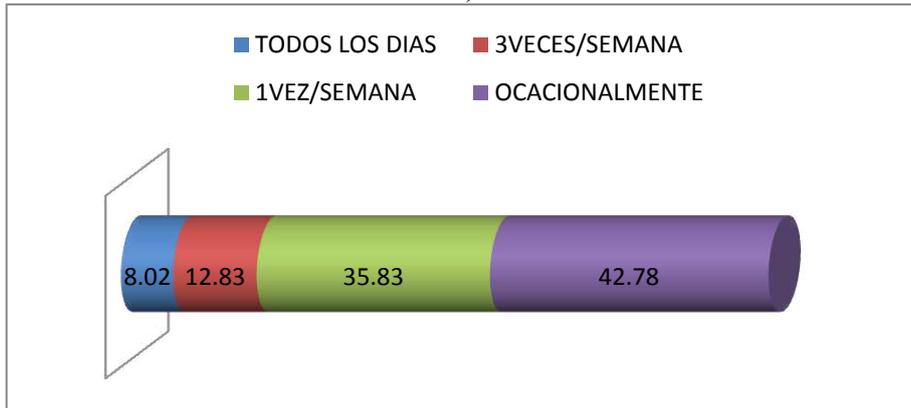
Así, en las gráficas de la [Figura. 4.7.](#) reflejan que el 42% de la población tienen un computador propio, y únicamente el 7% de la población puede acceder a internet (modem portátil Claro), de los cuales en su mayoría lo considera que es de bajo rendimiento y presenta retardos. Así, los servicios de televisión, y telefonía celular predominan en gran cantidad.

Se puede observar que al no existir un centro de computo cercano, y el dinero que implicaría gastar en transporte y el costo del servicio por hora, los usuarios aprovechan realizar un solo viaje por semana o la ocasión que lo amerite ocupando el servicio de internet entre 1 a 3 horas, cuyo tiempo sería necesario para culminar sus tareas, obtener información o entretenimiento.

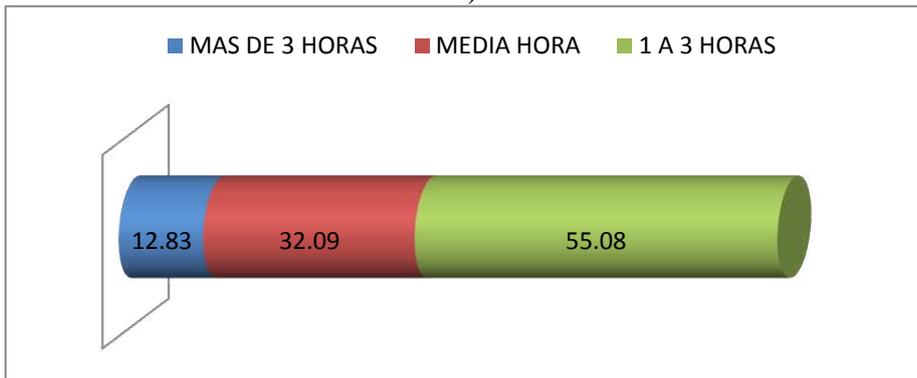
Es por eso que la mayoría de los usuarios desean una implementación urgente de una infraestructura que proporcione un servicio de internet para aprovechar todas las aplicaciones como una herramienta más de trabajo, lo que beneficiarían a los estudiantes como fuente actual de información, formando a jóvenes con otras expectativas de desarrollo, pudiendo estudiar a distancia, o ampliar sus horizontes a otras provincias y acceder a una Universidad. Por otra parte, a la agilización de trámites por parte de la Junta Parroquial y Centro Médico, además de la apertura de nuevas fuentes de trabajo para los obreros. Sin duda, en un inicio la acogida será por parte de los estudiantes, sin embargo, poco a poco seguirá ganando usuarios, y la inversión será reflejada en el buen desarrollo de la sociedad.



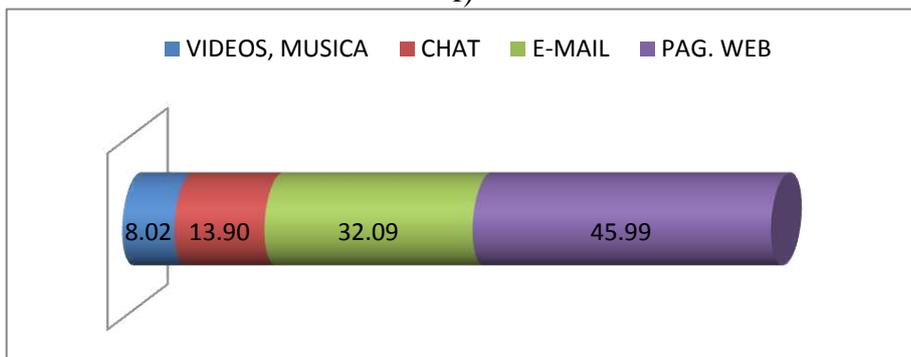
d)



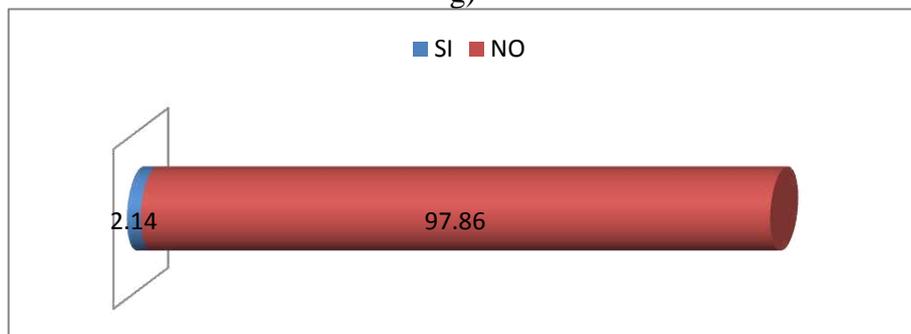
e)



f)



g)



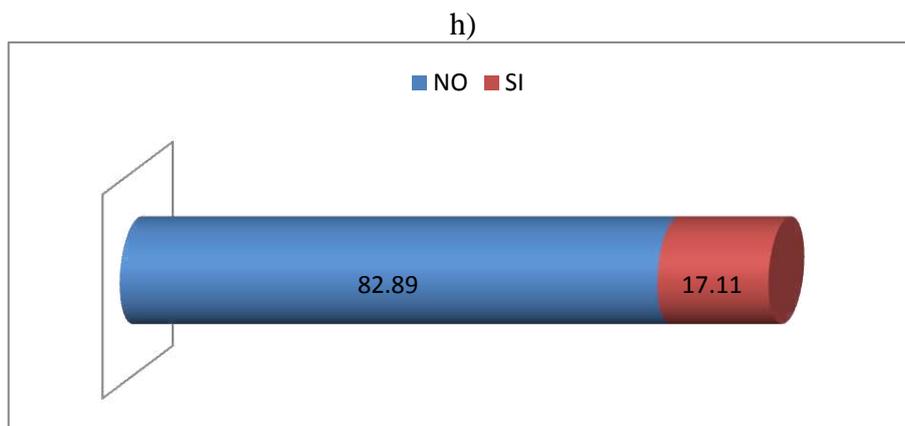


Figura. 4. 7. Resultados de la encuesta, a) Tenencia de Servicios de Telecomunicaciones, b) Tenencia de computador, c) Localización de un centro de computo, d) Visista al centro de computo, e) Utilización, f) Servicios más usados, g) Conocimiento de VoIP, h) Disponibilidad económica en la implementación de nuevos servicios.

4.5.Planificación de radios y topología de red

La planificación se define como un conjunto de acciones que se llevan a cabo para concretar planes y proyectos de distinto tipo. Es por esta razón que haciendo uso del estudio realizado se determina la topología, características de radio, dimensionamiento, selección de equipos, etc.

La topología de una red mallada es muy útil para este tipo de servicios, ya que además de incrementar sustancialmente el área de cobertura que puede alcanzar una red, tiene la ventaja de permitir redundancia de rutas, es decir, es tolerante a fallos, pues la caída de un nodo no implicaría necesariamente la caída de la red, ya que se podrá seguir enviando los mensajes por otras, a esto también se suma la importancia de trabajar con protocolos dinámicos que agilicen el desempeño de la red, y escogiendo la mejor ruta para evitar retardos.

En cuanto a la asignación de una banda de frecuencia, hay que tomar en cuenta que a mayores frecuencias, la señal no puede viajar tan fácil a través de obstáculos como copas de árboles, muros, etc, es decir, tiene menos alcance, pero si es capaz de transmitir mayor ancho de banda, mientras que para una frecuencia menor, es más efectiva cuando transmite a través de obstáculos, es decir presenta menor atenuación, por lo tanto presenta mayor

alcance, pero no puede transmitir tanto ancho de banda, aparte de ser mucho más congestionadas.

Por lo tanto, el uso de múltiples interfaces de radio, podrá maximizar la capacidad de la red, esto quiere decir, que se asigna a la banda de 2.4Ghz para dar servicio a los usuarios, mientras que la de 5.8 GHz para conectar los distintos nodos de la red troncal, evitando el uso de una frecuencia con interferencia, esta característica hace que la red mallada sea más robusta.

4.6.Equipamiento de red

La elección de los equipos es una tarea muy difícil, ya que se ha requerido de características muy robustas para trabajar en exteriores y que trabajen con doble banda de frecuencias no licenciadas (2.4Ghz y 5.8Ghz), además que proporcionen suficiente cobertura, y que presten funciones de redes inalámbricas malladas, compatibles con el futuro estándar 802.11s, específico para redes WMN, además de estar disponible en nuestro país. Las especificaciones técnicas completas, se enlista en el **Anexo #2**.

Así, como se muestra en la [Figura 4.8](#), para la red de transporte se ha seleccionado las tarjetas Alix, que permiten ser armadas de acuerdo a las funcionalidades que estas soporten, como el de equipar diferentes tarjetas de radio (Ubiquiti), y antenas exteriores de alta ganancia (Hyperlink). El usuario final puede hacer uso de una laptop ya que incorpora una tarjeta de radio wifi, además puede emplear los enrutadores inalámbricos Linksys WRT54GL mediante una antena directiva para exteriores apuntando al AP más cercano, adicionalmente de utilizar un adaptador telefónico análogo para formar el teléfono IP. Para la estación pasarela se emplean los mismos equipos que en una estación cliente, sumándose a estos un modem ADSL para tener conexión a internet, la tarjeta PCI Digium TDM13B para la conexión con la PSTN, y un servidor Asterisk para administrar y gestionar la red VoIP.