

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES**

**ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIONES WI-FI
DE LARGA DISTANCIA, CASO DE ESTUDIO ESPE**

GRANIZO MONTALVO EVELIO ALFREDO

"Trabajo previo a la obtención del Título de Magíster en Redes de
Comunicaciones"

Quito, 2012

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que me brindaron su ayuda, sin las cuales esta Tesis de Grado no hubiera sido posible.

A la Escuela Politécnica del Ejército por darme la oportunidad de estudiar y crecer profesionalmente. A mis compañeros y amigos de trabajo por escucharme y ayudarme en todas las dificultades que se me han presentado.

A mis hijas por estar a mi lado y darme apoyo y fuerzas para seguir adelante aun en los momentos más difíciles.

Quiero agradecer adicionalmente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y a su selecto grupo de profesionales, sin los cuales, mi aprendizaje y crecimiento profesional no estaría completo.

Evelio Granizo M.

Dedicatoria

Quiero dedicar mi Tesis de Grado, que a más de ser un requisito para la obtención de mi Título de Magister, representa el arduo camino y trabajo que conlleva llegar a la culminación de una meta; a mis hijas y a mis hijos, pilares fundamentales en mi vida. Con especial amor a una mujer maravillosa, a mi madre, quien inculcó en mí, desde muy pequeño, el amor por la vida, el mantener una actitud positiva ante cualquier circunstancia y quien me ha dejado una enseñanza de valentía y perseverancia.

Y especialmente dedico este logro a mis compañeros y amigos, quienes son un gran apoyo en mi vida profesional y personal, porque son incondicionales en cada momento que los necesito.

Evelio Granizo M.

Prólogo

Las interconexiones de redes sin cableado han contribuido en gran parte a la globalización y al acercamiento entre individuos y empresas, poniendo la información al alcance de millones de personas alrededor del planeta, tanto en zonas urbanas como rurales; mediante el internet inalámbrico que es una de las conexiones sin cables más populares en el mundo.

Con este trabajo se tiene el objetivo de proporcionar un sistema de comunicaciones WiFi de larga distancia de bajo costo para la ESPE, con un alcance superior a los 50 km, que pueda desplegarse en zonas rurales, como el IASA I y IASA II, que no pueden conectarse en forma alámbrica o no pueden costear una red de comunicaciones convencional. Cabe destacar que los enlaces WiFi a larga distancia no son ninguna novedad, desde el 2002 ya existen interconexiones que pasan los 100 km. La novedad de este tipo de comunicación consiste en utilizar la tecnología WiFi existente comercialmente y de bajo costo, modificando ciertos parámetros en la capa MAC para el cambio de comunicación WiFi de corta a larga distancia.

El equipo a modificar los parámetros en la capa MAC consiste en un router inalámbrico dotado de dos antenas, que pueden ser la una direccional y la otra omnidireccional o las dos direccionales, las cuales servirán para crear los enlaces de larga distancia punto a punto; en donde este router trabajará como estación base o repetidora, de esta forma los routers conformarán una red de comunicaciones que podrá cubrir una amplia región. Es decir, la comunicación WiFi de larga distancia se basa en radioenlaces formados por antenas direccionales que comunican parejas de routers, al contrario que el WiFi estándar, donde se tiene un punto de acceso que da servicio a múltiples máquinas; por lo que no son necesarios los protocolos estándar y de control de colisiones para WiFi de larga distancia, mediante la modificación de los parámetros en la capa MAC, de esta forma mejora el rendimiento del enlace, porque se suprime tráfico innecesario.

Índice General

Capítulo 1	1
Introducción y Objetivos	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Motivación de la tesis.....	2
1.3. Objetivos de la tesis.....	5
1.4. Estructura de la memoria.....	5
Capítulo 2	7
Fundamento Teórico.....	7
2.1. Estándar 802.11 de Larga Distancia.....	7
2.1.1. Estándares: 802.11a, 802.11b y 802.11g.....	7
2.1.2. Arquitectura del estándar Wi-Fi IEEE 802.11.....	9
2.1.3. Estándar 802.11n	10
2.1.4. Características Básicas del estándar 802.11n	16
2.1.5. Principales mejoras incorporadas en 802.11n	17
2.2. Tecnología WiLD.....	21
2.2.1. WiFi de Larga Distancia (WiLD).....	21
2.2.2. Elección del estándar 802.11 para establecer un enlace WiLD.....	23
2.2.3. Aplicaciones de la tecnología WiLD.....	25
2.2.4. Aumento del rango de acceso en tecnología WiLD	26
2.2.5. Los obstáculos para implementar WiLD	28
2.3. Tecnologías inalámbricas para larga distancia	29
2.3.1. Tecnologías Inalámbricas	29
2.3.2. Tecnologías Inalámbrica para Larga Distancia	30
2.3.3. Tecnologías inalámbricas y sus repercusiones sociales	36
Capítulo 3	38
Materiales y Métodos	38
3.1. Hardware	38
3.1.1. Estudio de la Red de Larga Distancia ESPE	39
3.1.2. Routers inalámbricos de Larga Distancia. Tarjetas ALIX	42
3.2. Software.....	48
3.2.1. DITG.....	49
3.2.2. IPERF.....	51
3.2.3. NS-2.....	53
3.2.4. Radio Mobile	56
3.2.5. Voyage Linux	58
3.3. Métodos	60
3.3.1. Modificación de la MAC para soportar enlaces de Larga Distancia.....	60
Capítulo 4	70
Estudio técnico para la reestructuración de la red inalámbrica de la ESPE	70
4.1. Antenas para redes inalámbricas Wi-Fi.....	70
4.1.1. Ganancia	74
4.1.2. Directividad	75
4.1.3. Ancho de haz	76

4.1.4. Eficiencia	77
4.2. Tarjetas que soportan modificación de MAC para incrementar distancias entre transmisión y recepción	78
4.2.1. Tarjetas que soportan modificación de MAC	78
4.2.2. Componentes de radio para la tarjeta ALIX	80
4.3. Repetidoras Wi-Fi	82
4.3.1. Ubicación física	85
4.3.2. Cumplimiento de condiciones básicas: accesibilidad, energía eléctrica, agua y línea de vista	89
4.4. Planificación de la red	95
4.4.1. Topología de la red WiLD ESPE	95
4.4.2. Direcciones IP de la red WiLD ESPE	97
4.4.3. Parámetros ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime	99
4.4.4. Configuración de la tarjeta ALIX	99
4.4.5. Montaje de los equipos en la torre	114
4.4.6. Ubicación y radiación de las antenas omnidireccionales en las Sedes de la ESPE	116
4.4.7. Equipamiento para la Red Inalámbrica de Larga Distancia	121
Capítulo 5	130
Análisis de la red ESPE WiLD a nivel de MAC	130
5.1. Características de la red en QoS	130
5.1.1. Throughput. Tasa real de transmisión	137
5.1.2. Delay. Se puede o no transmitir tráfico en tiempo real	141
5.1.3. Jitter. Desviación en el desplazamiento de la señal digital	144
5.1.4. Paquetes perdidos	148
5.2. Análisis de resultados	151
5.2.1. Garantía de QoS	155
Capítulo 6	157
Conclusiones y Recomendaciones	157
6.1. Conclusiones	157
6.2. Recomendaciones	159
Bibliografía	161
Glosario	166

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TARJETAS

- A1. Especificaciones técnicas de la tarjeta ALIX3d3.
- A2. Características y especificaciones técnicas de la tarjeta Mini-PCI de radio 802.11a/b/g/n DNMA-92.

ANEXO B: INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

- B1. Instalación DITG.
- B2. Instalación IPERF.
- B3. Instalación NS-2.
- B4. Instalación Radio Mobile.
- B5. Instalación Voyage Linux.

ANEXO C: CÓDIGO .TCL DE LA SIMULACIÓN

Índice de Figuras

Figura 2.1. Niveles inferiores de la arquitectura	10
Figura 3.1. Implementación de los componentes DITG [53]	51
Figura 3.2. Transmisión de una trama cuando el ACKTimeout es insuficiente [6]	61
Figura 3.3. ACKTimeout en función a la distancia.....	65
Figura 3.4 Transmisión de una trama cuando el ACKTimeout es adecuado [6]	66
Figura 3.5. CTSTimeout en función a la distancia.....	67
Figura 3.6. SlotTime en función a la distancia.....	69
Figura 4.1. Puntos de media potencia en un diagrama de radiación	76
Figura 4.2. Patrón polar de radiación de la antena HyperGain HG2424G.....	77
Figura 4.3. Patrón polar de radiación de la antena HyperGain HG2408U.....	77
Figura 4.4. Conexión puente inalámbrico	83
Figura 4.5. Conexión Repetidora Inalámbrica.....	84
Figura 4.6. Estación base y estación repetidora.....	85
Figura 4.7. Topología de la red inalámbrica ESPE	87
Figura 4.8. Torres de la repetidora del Atacazo	87
Figura 4.9. Torres de la repetidora del Bombolí.....	88
Figura 4.10. Torres de la repetidora de Guango.....	88
Figura 4.11. Acceso a las antenas de Bombolí.....	89
Figura 4.12. Acceso a las antenas de Guango	90
Figura 4.13. Acceso a las antenas del Atacazo.....	90
Figura 4.14. Línea de vista ESPE Sangolquí – Atacazo.....	92
Figura 4.15. Línea de vista ESPE IASA I – Atacazo	92
Figura 4.16. Línea de vista Atacazo - Guango	93
Figura 4.17. Línea de vista Atacazo - Bombolí.....	93
Figura 4.18. Línea de vista ESPE IASA II – Bombolí.....	94
Figura 4.19. Línea de vista ESPE Latacunga – Guango.....	94
Figura 4.20. Topología de la red inalámbrica ESPE	97
Figura 4.21. Topología de la red WiLD ESPE.....	98
Figura 4.22. Equipos instalados en la torre [48].....	115
Figura 4.23. Vista general de la ESPE Sangolquí	117
Figura 4.24. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE Sangolquí	117
Figura 4.25. Vista general de la ESPE Latacunga.....	118
Figura 4.26. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE Latacunga.....	118
Figura 4.27. Vista general de la ESPE IASA I.....	119
Figura 4.28. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE IASA I.....	119
Figura 4.29. Vista general de la ESPE IASA II	120
Figura 4.30. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE IASA II	120
Figura 4.31. ALIX3d3	124
Figura 4.32. case2c2	125
Figura 4.33. pignf	125
Figura 4.34. antnm.....	126
Figura 4.35. Cable Patch cort	126

Figura 4.36. POE1a2	127
Figura 4.37. ac18veur	127
Figura 4.38. cf8slc	128
Figura 4.39. DNMA-92	128
Figura 4.40. HyperGain HG2424G	129
Figura 4.41. HyperGain HG2408U	129
Figura 5.1. Topología la red WiLD de la ESPE	133
Figura 5.2. Throughput enlace ESPE Sangolquí – Atacazo.....	138
Figura 5.3. Throughput enlace ESPE IASA I – Atacazo.....	138
Figura 5.4. Throughput enlace Atacazo - Guango.....	139
Figura 5.5. Throughput enlace Atacazo - Bombolí.....	139
Figura 5.6. Throughput enlace ESPE IASA II – Bombolí.....	140
Figura 5.7. Throughput enlace Latacunga – Guango	140
Figura 5.8. Delay enlace ESPE Sangolquí – Atacazo.....	141
Figura 5.9. Delay enlace ESPE IASA I – Atacazo	142
Figura 5.10. Delay enlace Atacazo - Guango	142
Figura 5.11. Delay enlace Atacazo - Bombolí.....	143
Figura 5.12. Delay enlace ESPE IASA II – Bombolí.....	143
Figura 5.13. Delay enlace Latacunga – Guango	144
Figura 5.14. Jitter enlace ESPE Sangolquí – Atacazo	145
Figura 5.15. Jitter enlace ESPE IASA I – Atacazo.....	145
Figura 5.16. Jitter enlace Atacazo - Guango.....	146
Figura 5.17. Jitter enlace Atacazo - Bombolí.....	146
Figura 5.18. Jitter enlace ESPE IASA II – Bombolí.....	147
Figura 5.19. Jitter enlace Latacunga – Guango	147
Figura 5.20. Paquetes perdidos enlace ESPE Sangolquí – Atacazo	148
Figura 5.21. Paquetes perdidos enlace ESPE IASA I – Atacazo.....	149
Figura 5.22. Paquetes perdidos enlace Atacazo - Guango.....	149
Figura 5.23. Paquetes perdidos enlace Atacazo - Bombolí.....	150
Figura 5.24. Paquetes perdidos enlace ESPE IASA II – Bombolí.....	150
Figura 5.25. Paquetes perdidos enlace Latacunga – Guango	151

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Estándares: 802.11a, 802.11b y 802.11g.....	8
Tabla 2.2. Resumen de PHYs IEEE 802.11 [9].....	9
Tabla 3.1. Modelos de las tarjetas ALIX de PC Engines [27].....	45
Tabla 3.2. Parámetros de MAC relevantes para estándares a, b y g [22].....	63
Tabla 3.3. Distancias alcanzables con ACKTimeout estándar en 802.11 [6]	64
Tabla 3.4. Valores ACKTimeout en función a la distancia.....	65
Tabla 3.5. Valores CTSTimeout en función a la distancia.....	67
Tabla 3.6. Valores SlotTime en función a la distancia.....	68
Tabla 4.1. Especificaciones técnicas de la antena HyperGain HG2424G.....	73
Tabla 4.2. Especificaciones técnicas de la antena HyperGain HG2408U.....	74
Tabla 4.3. Ganancia de las antenas para WiLD ESPE	75
Tabla 4.4. Directividad de las antenas para WiLD ESPE	76
Tabla 4.5. Ancho de haz de las antenas para WiLD ESPE	77
Tabla 4.6. Eficiencia de las antenas para WiLD ESPE	78
Tabla 4.7. Características de las tarjetas Fox board de ACME Systems y ALIX de PC Engines [27][56]	79
Tabla 4.8. Características de las tarjetas de radio.....	80
Tabla 4.9. Coordenadas geográficas de las estaciones	86
Tabla 4.10. Parámetros de las antenas direccionales transmisoras.....	91
Tabla 4.11. Parámetros de las antenas direccionales receptoras	91
Tabla 4.12. Coordenadas geográficas y alturas de las estaciones	96
Tabla 4.13. Distancias entre estaciones	96
Tabla 4.14. ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime en función a la distancia, para los enlaces de la ESPE	99
Tabla 4.15. IPs de las interfaces de todos los routers de la red WiLD ESPE.....	112
Tabla 4.16. Puntos de acceso 'essid' de las interfaces de todos los routers de la red WiLD ESPE.....	112
Tabla 4.17. Redes que deben acceder las interfaces de todos los routers de la red WiLD ESPE.....	113
Tabla 4.18. Azimut y ángulo de elevación de los nodos [48]	114
Tabla 4.19. Parámetros de las antenas omnidireccionales.....	116
Tabla 4.20. Componentes de la red inalámbrica de la ESPE para larga distancia	123
Tabla 5.1. Coordenadas geográficas y coordenadas X e Y	133
Tabla 5.2. Parámetros de transmisión que se configuran para la simulación de los enlaces.....	134
Tabla 5.3. Velocidad de transmisión promedio y rendimiento de cada enlace	152
Tabla 5.4. Promedio del Delay en cada enlace.....	153
Tabla 5.5. Promedio del Jitter en cada enlace	154
Tabla 5.6. Promedio de los paquetes perdidos en cada enlace	154

Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1.1. Introducción

A pesar del avance tecnológico, aun existen brechas sociales en los países en desarrollo, sobretodo en zonas apartadas. En estos países es frecuente que zonas rurales de gran extensión carezcan por completo de infraestructuras de telecomunicaciones, lo cual supone un obstáculo para el desarrollo y la calidad de vida de las personas. Las razones de esta carencia van desde el alto costo de las alternativas tecnológicas convencionales hasta las dificultades del entorno tales como la ausencia de alimentación eléctrica, las dificultades de acceso o la falta de seguridad física de las instalaciones en emplazamientos deshabitados [6].

Hay algunas experiencias que permiten asegurar que la tecnología IEEE 802.11, diseñada en principio como solución para redes inalámbricas de área local, puede ser útil para el despliegue de redes extensas en zonas aisladas de países en desarrollo por su flexibilidad, prestaciones y bajo costo. No obstante, el estándar fue concebido para distancias cortas y su funcionamiento para distancias largas es deficiente y, hasta ahora, un tanto impredecible, sobre todo en configuraciones punto a multipunto [6].

Los modelos de comportamiento y prestaciones de IEEE 802.11 disponibles hasta ahora no son válidos para distancias largas entre nodos y, por lo tanto, no explican los problemas que se presentan en distancias largas ni sirven para buscar soluciones; toda la

investigación publicada al respecto es válida tan solo para distancias cortas. Igualmente, los productos de simulación de redes que implementan IEEE 802.11, suelen tener deficiencias que impiden usarlos para reproducir situaciones que se encuentran en redes extensas [6].

“Desde el desarrollo de la tecnología Wi-Fi, grandes saltos en la tecnología se han hecho. En el área de alcance de Wi-Fi se ha llevado a un extremo, tanto para aplicaciones comerciales y residenciales de Wi-Fi de larga distancia han surgido en todo el mundo. También se ha utilizado en pruebas experimentales en el mundo en desarrollo para vincular a las comunidades separadas geográficamente, con pocas o ninguna opción de conectividad [3].”

A pesar que Wi-Fi fue desarrollado para distancias cortas, con modificaciones del firmware puede ser empleado exitosamente para largas distancias.

La ESPE cuenta con seis Sedes: Héroes del CENEPa, ESPE Idiomas Quito, ESPE Sangolquí, ESPE Latacunga, IASA I y IASA II, las cuales cuentan con redes inalámbricas en forma individual. Pero en este trabajo se va a realizar el estudio del enlace de las cuatro últimas Sedes, mediante una red con tecnología WiFi de Larga Distancia (WiLD).

1.2. Motivación de la tesis

Las soluciones inalámbricas presentes en la actualidad, son un producto de la sociedad industrializada, que fueron desarrolladas para la comunicación móvil en la sociedad urbana.

Las soluciones disponibles son [1]:

- G3 y G4, la telefonía móvil y el internet.
- WiFi (802.11a/b/g) que requiere línea de vista alcanzando como límite enlaces de hasta 50 km, con buena ingeniería.
- WiMAX (802.16) permite uso de repetidoras, que soporta *Near Line Of Site*, un alcance máximo de hasta 50 km.
- (UNO) X-25, VHF y UHF.
- El satélite IP, casi en todas partes.

OFTELSAT diseña, desarrolla y adapta, los sistemas de hardware (*hard ware hardening*) de radios, equipos de comunicación y de computación, para su uso en ambientes, menos favorables y más exigentes, que trabajan en el Ecuador, conjuntamente con el IICD (Instituto Internacional de Conectividad y Desarrollos) y MCCH (Maquita Cushunchic), los cuales están dedicados a encontrar soluciones de conectividad para el desarrollo social y económico en ambientes rurales [1].

El objetivo de OFTELSAT es implementar las redes 802.11a/g a una escala masiva en las zonas rurales y suburbanas, siendo el único en realizar proyecto de este tipo en el país. La implementación es de más de 400km de redes inalámbricas de alta velocidad en varias partes del Ecuador. Las instalaciones realizadas fueron complicadas por el terreno montañoso, las distancias más largas son de un poco más de 50km, un problema que fue resuelto con el uso de repetidoras; alcanzando velocidades máximas de 54Mbps, con el estándar 802.11a [2].

La carencia de implementar redes 802.11a/g es el alcance que tiene como máximo 50 km en línea de vista, por lo tanto la utilización de WiLD permite solventar este problema, hasta 300 km, mediante la modificación de la MAC para soportar enlaces de Larga Distancia, con cambio de tarjetas que soporten modificación de MAC para incrementar distancias entre transmisor y receptor.

Para la elección del tema se tomó en cuenta las siguientes razones:

Sociales:

- Las tecnologías inalámbricas en particular, permiten un rápido desarrollo y despliegue de infraestructuras de comunicaciones, reduciendo el costo de la inversión.
- El desarrollo que tendrá la sociedad de la información ecuatoriana, al vincular a las comunidades separadas geográficamente con características propias de nuestro país, las cuales poseen pocas opciones o ninguna alternativa de conectividad [3].

Teóricas:

- Las TIC tienen un gran potencial para reducir la brecha de acceso a los servicios de salud (telemedicina), educación y comunicaciones.

- WiFi de Larga Distancia se utiliza por el bajo costo, como una alternativa a las redes celulares o enlaces por satélite.
- Las redes inalámbricas basadas en modificaciones de la tecnología WiFi pueden ser diseñadas, instaladas y mantenidas por las propias comunidades interesadas en usarlas, pues no necesitan de grandes inversiones ni de personal técnico altamente especializado [5].

Personales:

- Los Servicios en Redes de Bajo Costo a sectores rurales y marginados que se pueden dar son los siguientes:
 - Utilización intensiva de servicios IP para reducción de costos. Voz sobre IP como alternativa ideal para la conectividad telefónica.
 - Telemedicina es un tema neurálgico.
 - Educación (teleeducación).
 - Acceso a portales de transacciones y procedimientos de entidades del estado. Aprovechamiento de sinergias con otros proyectos del estado.
 - Comercio electrónico.
- Se desea aportar con el tema de la tesis planteada, en el entrenamiento de las personas que estén motivadas para suministrarles los conocimientos necesarios, para que puedan realizar una instalación de una red inalámbrica exitosa, a través del empleo de métodos que permitan a WiFi incrementar las áreas de cobertura.

Por las razones anteriormente mencionadas se avizora la necesidad y la importancia de realizar la investigación propuesta, ya que con las redes inalámbricas en zonas rurales y urbano marginales se puede crear centros de comunicación que van a dar aporte y contenido a la radio de forma interactivo, y dar conectividad de datos a escuelas, centros de salud, juntas parroquiales etc.

Se considera que la investigación del tema es factible porque se cuenta con los conocimientos, recursos técnicos, materiales, metodología, y las herramientas de software para la evaluación de la red.

Los posibles resultados que se pueden obtener con el desarrollo de la tesis propuesta son:

- Establecer la viabilidad del uso de la tecnología WiFi en los entornos de larga distancia y su aplicación óptima.
- Demostrar con la investigación del tema que la solución WiLD en la implementación de redes inalámbricas de larga distancia presenta un bajo costo.

Por todas las razones antes expuestas y con el fin de dar solución adecuada para el desarrollo de un red WiFi de Larga Distancia y bajo costo, con capacidad para establecer un enlace de hasta 100 kilómetros, como una forma de acortar la brecha digital que aún existe en nuestro país en las zonas más alejadas. La red WiFi de Larga Distancia proporcionará: mayor alcance a los 50 km dados por WiFi, facilidad de implementación y costos bajos en la implementación.

1.3. Objetivos de la tesis

a) General:

Analizar la tecnología WiFi de Larga Distancia determinando las características técnicas que debe soportar una red de este tipo, y que permitirá identificar las modificaciones necesarias y suficientes de las redes inalámbricas actuales, para dar servicios a sectores rurales y urbanos marginales.

b) Específicos:

- Identificar los límites de operación de IEEE 802.11 en términos de distancia.
- Analizar las mejoras de las modificaciones de la MAC para WiLD.
- Determinar herramientas para la simulación de la red. NS2.
- Identificar medidores de tráfico en software.
- Determinar las capacidades del sistema en: throughput, delay, paquetes perdidos, y jitter.

1.4. Estructura de la memoria

La memoria de la tesis se estructura de la siguiente manera:

En el Capítulo 2 se presenta el estado del arte en el área de estudio de las redes inalámbricas basadas en modificaciones de la tecnología WiFi con su estándar 802.11 de

Larga Distancia. Se da especial atención a las tecnologías WiLD e inalámbricas para larga distancia.

En el Capítulo 3 se realiza una descripción en detalle de los materiales de hardware y software, y métodos; utilizados para soportar enlaces de Larga Distancia. Respecto al Hardware se establecerá el estudio de la Red de Larga distancia ESPE, Routers inalámbricos de Larga Distancia y tarjetas ALIX. En cuanto al Software se establecerá un estudio y se describirá de DITG, IPERF, NS-2, Radio Mobile y Voyage Linux. Por último, en los Métodos consistirá el estudio de la modificación de la MAC para soportar enlaces de Larga Distancia

En el Capítulo 4 se hace una descripción de varios aspectos específicos de la propuesta sobre el estudio técnico para la reestructuración de la red inalámbrica de la ESPE, en cuanto a las antenas para redes inalámbricas WiFi, ganancia, directividad, ancho de haz, eficiencia. Luego se describe las tarjetas que soporten modificación de MAC para incrementar distancias entre transmisión y recepción. También se hace una descripción de las repetidoras WiFi, tanto en la ubicación física y el cumplimiento de condiciones básicas tales como: accesibilidad, energía eléctrica, agua y línea de vista. Se finaliza con la planificación de la red WiLD ESPE.

En el Capítulo 5 se hace una descripción y simulación con el software ns2, de varios aspectos específicos respecto al análisis de la red ESPE WiLD a nivel de MAC, considerando las características de la red en QoS, tales como: Throughput o tasa real de transmisión, Delay si se puede o no transmitir tráfico en tiempo real, Jitter o desviación en el desplazamiento de la señal digital y paquetes perdidos. También, se muestran el análisis de resultados y la garantía de QoS; de la red ESPE WiLD a nivel de MAC.

Finalmente, en el Capítulo 6 se expondrán las conclusiones finales del trabajo y las recomendaciones.

Adicionalmente se presenta los anexos para la instalación de los diferentes software utilizados y mencionados en el presente proyecto, tales como: DITG, IPERF, NS-2, Radio Mobile y Voyage Linux.

Capítulo 2

Fundamento Teórico

2.1. Estándar 802.11 de Larga Distancia

Existen varias tecnologías de transmisión inalámbrica pero la más conocida es la WIFI, publicada bajo el estándar IEEE 802.11, que define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (Open Systems Interconnection): capa física (PHY) y capa de enlace de datos; especificando sus normas de funcionamiento en una red de comunicación de datos inalámbrico WLAN (Wireless Local Area Network). Este estándar ha variado o se ha actualizado a lo largo de los tiempos, y se han creado los estándares IEEE 802.11x, como por ejemplo 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n.

El estándar 802.11 para redes LAN inalámbricas incluye una serie de enmiendas, las cuales contemplan principalmente las técnicas de modulación, gama de frecuencia y la calidad del servicio (QoS).

2.1.1. Estándares: 802.11a, 802.11b y 802.11g

Los subestándares de WiFi que más se explotaron en el ámbito comercial son 802.11a, 802.11b y 802.11g, estos estándares que trabajan en redes inalámbricas, aportan la ventaja de ser compatibles entre sí, de forma que el usuario no necesitará nada más que su adaptador WiFi integrado, para poder conectarse a la red.

Los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g trabajan a diferentes velocidades de transmisión y frecuencia de operación, como se muestra en la Tabla 2.1 [10][11].

Tabla 2.1 Estándares: 802.11a, 802.11b y 802.11g

Estándar	Velocidad de Transmisión Mbps	Frecuencia de Operación GHz	Características
802.11	1	2,4	<ul style="list-style-type: none"> ▀ Aprobado en 1997 ▀ Versión original del estándar ▀ Protocolo como método de acceso, CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) ▀ Tiene dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas
802.11a	54	5	<ul style="list-style-type: none"> ▀ Aprobado en 1999 ▀ Utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original ▀ Velocidades reales de aproximadamente 20 Mbps ▀ Tiene menos interferencias al utilizar la banda de 5 GHz, dado que la banda de 2,4 Ghz se usa en los teléfonos inalámbricos y hornos de microondas, etc. ▀ Tiene la desventaja de utilizar la banda de 5 GHz, porque restringe el uso de los equipos a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso ▀ No se puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares
802.11b	11	2,4	<ul style="list-style-type: none"> ▀ Aprobado en 1999 ▀ Conserva compatibilidad con el Estándar Nativo 802.11, de 1Mb. Utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original, CSMA/CA ▀ Las debilidades del 802.11 fueron corregidas en el estándar 802.11b ▀ La velocidad máxima de transmisión, en la práctica, con este estándar es de aproximadamente 5,9 Mbps sobre TCP y 7,1 Mbps sobre UDP ▀ Fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores
802.11g	54	2,4	<ul style="list-style-type: none"> ▀ Aprobado en 2003 ▀ Es la evolución del estándar 802.11b, siendo compatible con el estándar b, equipos bajo este estándar se pueden adaptar para el estándar g ▀ Reduce significativamente la velocidad de transmisión, porque en redes bajo el estándar g existe la presencia de nodos bajo el estándar b. ▀ Velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a, que en promedio es de 22,0 Mbps ▀ Puede alcanzar los 108 Mb con dispositivos del mismo fabricante, siempre que se den las condiciones óptimas y sólo si el fabricante hizo la adaptación ▀ Actualmente se venden equipos con potencias de hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de hasta 50 km con antenas parabólicas o equipos de radio apropiados

En la Tabla 2.2, se muestran algunas características a nivel de la capa física de los estándares propuestos en la tecnología 802.11a/b/g/n. En ella se puede destacar las diferencias de las tasas de

datos soportadas, las cuales han ido en aumento hasta llegar a los 600 Mbps con el estándar 802.11n.

Tabla 2.2. Resumen de PHYs IEEE 802.11 [9]

Características	802.11	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Tecnología PHY	DSSS	OFDM	DSSS/CKK	OFDM DSSS/CKK	SDM/OFDM
Tasa de datos	1, 2 Mbps	6 - 54 Mbps	5.5, 11 Mbps	1 – 54 Mbps	6 – 600 Mbps
Banda de frecuencia	2,4 Ghz	5 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz	2,4 y 5 Ghz
Ancho de canal	25 Mhz	20 Mhz	25 Mhz	25 Mhz	20 y 40 Mhz

2.1.2. Arquitectura del estándar Wi-Fi IEEE 802.11

La arquitectura del IEEE 802.11 está formada por una serie de elementos que interaccionan para proveer movilidad a las estaciones en una red local de acceso inalámbrico, que sea transparente a las capas superiores. El elemento básico de las redes de acceso definido en el estándar es la Estación (STA), definida como cualquier elemento que contenga una capa de Control de Acceso al Medio (MAC, Medium Access Control) y una capa Física (PHY, Physics) acorde con lo definido en el estándar. En donde las estaciones pueden ser móviles, portátiles o estacionarias [12]. También, se conoce al elemento básico en una LAN basada en WiFi como Basic Service Set (BSS).

En las LANs inalámbricas basadas en el IEEE 802.11 se pueden diferenciar dos tipos de elementos habituales; la estación wireless o tarjeta de red inalámbrica (STA o NIC) y el Punto de Acceso (AP). Los dos elementos son estaciones en la estricta definición del término, pero el AP es un dispositivo con funcionalidad añadida, porque incluye una interfaz de red adicional normalmente conectada con una red de cable como Ethernet.

La distancia de comunicación directa entre dos estaciones viene limitada por las capacidades de las distintas capas PHY definidas en el estándar, por lo que para extender la distancia de cobertura de una red inalámbrica, las BSS en lugar de ser unidades independientes, se pueden incluir dentro de una unidad mayor llamada Extended Service Set (ESS). El estándar define, por otro lado, una serie de servicios que se tienen que proveer en cualquier implementación inalámbrica, tales como: servicios de autenticación,

privacidad, entrega MSDU (MAC Service Data Unit)), asociación, reasociación, disociación, distribución e integración, etc. [12].

La Figura 2.1 muestra los distintos componentes y relación con el modelo OSI, en los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI:

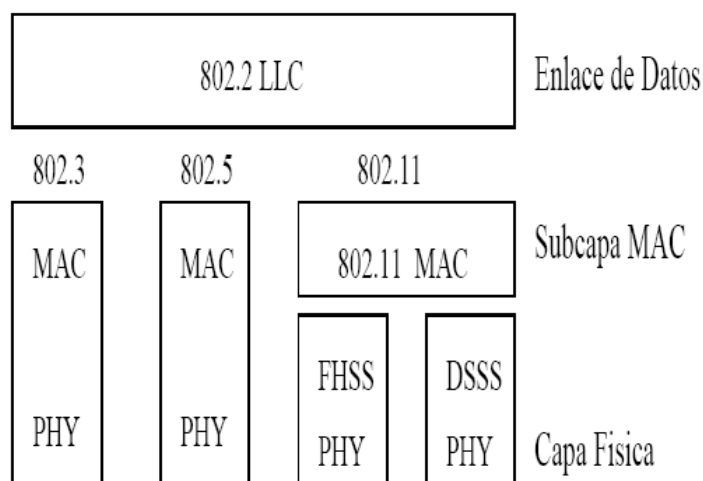


Figura 2.1. Niveles inferiores de la arquitectura OSI [15]

La subcapa MAC contiene el conjunto de reglas que determinan la forma de acceder al medio y enviar datos, y la subcapa PHY se ocupa de los detalles de transmisión y recepción.

En la base de la especificación 802.11 se encuentra dos sub-capas físicas, que son:

1. **FHSS.** Frequency Hopping Spread Spectrum
2. **DSSS.** Direct Sequence Spread Spectrum

2.1.3. Estándar 802.11n

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas utilizan, entre otros estándares, el basado en el 802.11n, que fue ratificado por la organización IEEE el 11 de septiembre de 2009, y es una propuesta de modificación al estándar IEEE 802.11-2007 para mejorar significativamente el rendimiento de la red más allá de los estándares anteriores, tales como 802.11a, 802.11b y 802.11g; que busca una modificación del acceso a las capas tanto física como de control, y con un incremento significativo en la velocidad máxima de

transmisión de 54 Mbps hasta 600 Mbps, con mayor alcance de operación de las redes, como se indica a continuación [11]:

- **Mayor velocidad real de transmisión.** Esto se consigue utilizando un esquema de modulación de la señal, basado en utilizar tres antenas que permiten enviar y recibir la señal por varios canales al mismo tiempo. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 Mbps, lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores, por lo que debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b [10]. En la actualidad la capa física soporta una velocidad de 300Mbps, con el uso de dos flujos espaciales en un canal de 40 MHz, dependiendo del entorno, esto puede traducirse en un rendimiento percibido por el usuario de 100Mbps.
- **Mayor alcance de operación de las redes.** Se consigue esto gracias a la tecnología MIMO (Multiple Input - Multiple Output), que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas [11].

El estándar IEEE 802.11n hace uso simultáneo de ambas bandas, 2,4 Ghz y 5,4 Ghz, y está construido basándose en estándares previos de la familia 802.11, añadiendo: MIMO, unión de interfaces de red (Channel Bonding), y de agregar tramas a la capa MAC. Estas tres características se explican a continuación [12]:

1. MIMO

Es una tecnología que usa múltiples antenas transmisoras y receptoras, para mejorar el desempeño del sistema, permitiendo manejar más información y cuidando la coherencia; que al utilizar una sola antena. Dos beneficios importantes que provee MIMO a 802.11n son: la diversidad de antenas y el multiplexado espacial.

La tecnología MIMO depende de señales multiruta, las cuales son señales reflejadas que llegan al receptor un tiempo después de que la señal de línea de visión (Line Of Sight, LOS) ha sido recibida. A continuación se muestra las habilidades que provee MIMO:

- Incrementa la habilidad de un receptor de recobrar los mensajes de la señal, porque MIMO utiliza la diversidad de las señales multirutas.
- Multiplexa espacialmente múltiples flujos de datos independientes, transferidos simultáneamente con un canal espectral de ancho de banda, mediante SDM (Multiplexado de División Espacial). Lo que SDM puede incrementar significativamente el desempeño de la transmisión conforme el número de flujos espaciales es incrementado, en donde cada flujo espacial requiere una antena discreta tanto en el transmisor como el receptor.

Además, la tecnología MIMO requiere una cadena de radio frecuencia separada y un convertidor de analógico a digital para cada antena MIMO, lo cual incrementa el costo de implantación comparado con sistemas sin MIMO.

2. Channel Bonding

Es la segunda tecnología incorporada al estándar 802.11n, que también es conocida como 40 MHz o unión de interfaces de red. Las características de la tecnología Channel Bonding son:

- Puede utilizar dos canales separados que no se solapen, para transmitir datos simultáneamente.
- La unión de interfaces de red incrementa la cantidad de datos que pueden ser transmitidos.
- Se utilizan dos bandas adyacentes de 20 MHz cada una, por eso el nombre de 40 MHz. Esto permite doblar la velocidad de la capa física disponible en un solo canal de 20 MHz; aunque el desempeño del lado del usuario no será doblado.

Utilizar conjuntamente una arquitectura MIMO con canales de mayor ancho de banda, ofrece la oportunidad de crear sistemas muy poderosos y rentables para incrementar la velocidad de transmisión de la capa física.

3. La capa MAC

El estándar 802.11 define en su capa MAC una serie de funciones, que se encargan de gestionar y mantener las comunicaciones entre estaciones 802.11 de las redes inalámbricas, donde cada nodo de la red se identifica mediante los 6 bytes de su dirección MAC y cada

nodo receptor reconoce su propia dirección MAC. Estas funciones de la capa MAC 802.11 se muestran a continuación:

- **Búsqueda (Scanning).** Utiliza un adaptador de red para localizar puntos de acceso.
- **Autenticación (Authentication).** Tiene autenticación SSID (Service Set ID) ó técnica de cifrado, que es el proceso para comprobar la identidad de un adaptador en la red para aceptarlo o rechazarlo.
- **Asociación.** Es un proceso por el cual el punto de acceso reserva recursos y sincroniza con una estación cliente.
- **Seguridad.** El sistema Privacidad Equivalente a Cableado (WEP, Wired Equivalent Privacy), es opcional en el estándar 802.11.
- **RTS/CTS.** Las funciones Request-To Send y Clear-To-Send (RTS/CTS) permiten al punto de acceso controlar el uso del medio de las estaciones activando RTS/CTS.
- **Modo ahorro energía (Power Save Mode).** El 802.11 establece unos mecanismos para intentar evitar el excesivo consumo de batería, porque el funcionamiento normal de las redes inalámbricas supone un acceso constante al medio (CAM) [16].

En resumen, la capa MAC tiene que coordinar el acceso a un canal de radio compartido y utilizar su capa PHY 802.11b o 802.11g; para detectar la portadora y, transmisión y recepción de tramas; como se describe a continuación [14]:

a. El acceso a un canal de radio compartido

El estándar 802.11 define dos formas de acceso al medio: función de coordinación distribuida (DCF) y función de coordinación de punto (PCF), las cuales se describen a continuación:

- **Función de coordinación distribuida (DCF).** Una estación sólo puede transmitir cuando el canal está libre, si otra estación envía una trama debe esperar a que el canal esté libre para poder transmitir. Esta forma de acceso es obligatorio en todas las estaciones inalámbricas y se basa en el protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). Es decir, en la subcapa MAC de la capa Data Link, el estándar 802.11 utiliza el protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC), para acceso múltiple por detección de portadora con evitación de colisión (CSMA/CA).

En CSMA/CA cuando la estación que quiere transmitir debe realizar una serie de pasos:

- ✓ Escuchar en el canal correspondiente.
- ✓ Si el canal está libre envía la trama.
- ✓ Si el canal está ocupado espera un tiempo aleatorio denominado contención y vuelve a intentarlo.
- ✓ Transcurrido el tiempo de contención vuelve a repetir todo el proceso hasta que pueda enviar la trama.

Un aspecto importante de DCF es que la estación utiliza un temporizador aleatorio cuando detecta una colisión por estar el medio ocupado. Si el canal está en uso la estación tendrá que esperar un tiempo aleatorio antes de volver a intentar tener acceso al medio y de esta forma se garantiza que dos estaciones no van a transmitir al mismo tiempo. Este tiempo se conoce como contención.

- **Función de coordinación de punto (PCF).** Es una técnica utilizada en IEEE 802.11 de Control de Acceso al Medio (MAC), que reside en un Coordinador de Punto, llamado también Punto de Acceso (AP), para coordinar la comunicación en la red.

El PCF está situado directamente sobre la Función de Coordinación Distribuida (DCF), en la Arquitectura MAC IEEE 802.11. El acceso a los canales en el modo PCF está centralizado y por lo tanto, el Coordinador de Punto envía la trama polling libre de contención (CF-Poll) de la estación de PCF capaz de permitir la transmisión de una trama. En el caso de las estaciones encuestadas si no tienen ningún tipo de trama a enviar, entonces se debe transmitir la trama nula.

Como la mayoría de los puntos de acceso tienen topologías lógicas de bus (se comparten circuitos) sólo un mensaje se puede procesar al mismo tiempo (se trata de un argumento basado en el sistema), y por lo tanto la técnica de Control de Acceso al Medio es necesaria.

Las redes inalámbricas pueden sufrir de un problema del nodo oculto, donde algunos nodos regulares (que sólo se comunican con el AP) no pueden ver los otros nodos en el borde extremo del radio geográfico de la red, ya que atenúa la señal inalámbrica antes de que llegue tan lejos. Teniendo así un punto de acceso en el medio permite que la distancia sea a la mitad, permitiendo que todos los nodos para ver el AP, y en consecuencia, reducir a la mitad la distancia máxima entre dos nodos en los extremos de una topología de estrella círculo.

PCF parece aplicarse sólo a muy pocos dispositivos de hardware, ya que no forma parte del estándar de interoperabilidad de la Alianza WiFi.

Las funciones de la capa MAC IEEE 802.11 no sólo gestionan y coordinan el acceso al canal de transmisión, sino que hasta cierto punto se encargan de la autenticación y otras tareas de administración y seguridad.

b. Utilizar su capa PHY

La capa física (PHY) es la interfaz entre el MAC y el medio inalámbrico, que provee de tres niveles de funcionalidad, que se indican a continuación:

1. Intercambiar tramas entre PHY y MAC
2. Utilizar portador de señal (Signal Carrier) y modulación de espectro ensanchado (Spread Spectrum) para transmitir tramas a través del medio
3. Proveer al MAC de un indicador de detección de portadora (Carrier Sense Indication) para señalar actividad en el medio.

La capa física está dividida en dos sub-capas, el PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) más cercano al MAC y el PMD (Physical Medium Dependent Layer) que interacciona con el medio inalámbrico (WM).

El estándar original IEEE 802.11 define tres opciones para la capa física, operando a 1 y 2 Mbps en la banda de 2,4 GHz:

- 1) El Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

- 2) El Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- 3) Una especificación de infrarrojo (IR).

Y en 1999 dos nuevas capas físicas fueron ratificadas:

- 1) Por un lado el 802.11b que, usando técnicas DSSS, provee velocidades de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps
- 2) Por otro lado el 802.11a que usando técnicas OFDM en la banda UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) de 5GHz ofrece velocidades de acceso de hasta 54Mbps

Todas las tramas que utilizan las capas físicas descritas incluyen una cabecera y un preámbulo PLCP, como se describe a continuación:

1. **La cabecera PLCP.** Contiene información acerca del paquete MAC transmitido, tal como la duración o la velocidad de transmisión utilizada.
2. **El preámbulo.** Se utiliza por el receptor para adquirir la señal entrante y sincronizar con el demodulador.

El conjunto de cabecera PLCP, preámbulo y paquete MAC, llamado MPDU (MAC Protocol Data Unit), conforma lo que se llama PHY Protocol Data Unit (PPDU). La información incluida depende de la capa física utilizada.

Es importante destacar que la cabecera y preámbulo se transmitan siempre a 1Mbps, para que todas las estaciones que cumplan el estándar sean capaces de decodificarlos y analizarlos.

2.1.4. Características Básicas del estándar 802.11n

A continuación se describen las características más relevantes del estándar 802.11n, que va a ser utilizado en enlaces de larga distancia [13]:

- **Estaciones:** computadores o dispositivos con interfaz inalámbrica.
- **Medio:** se puede definir uno, la radiofrecuencia.

- **Punto de acceso (AP):** tiene las funciones de un puente (conecta dos redes con niveles de enlaces parecidos o distintos), y realiza por tanto las conversiones de trama pertinente.
- **Sistema de distribución:** proporciona movilidad entre APs, para tramas entre distintos puntos de acceso o con los terminales, porque es el mecanismo que controla donde está la estación para enviarle las tramas.
- **Conjunto de servicio básico (BSS):** grupo de estaciones que se intercomunican entre ellas. Se define dos tipos:
 - **Independientes:** cuando las estaciones, se intercomunican directamente.
 - **Infraestructura:** cuando se comunican todas a través de un punto de acceso.
- **Conjunto de servicio Extendido (ESS):** es la unión de varios BSS.
- **Área de Servicio Básico (BSA):** es la zona donde se comunican las estaciones de una misma BSS, se definen dependiendo del medio.
- **Movilidad:** este es un concepto importante en las redes 802.11, porque indica la capacidad de cambiar la ubicación de los terminales, variando la BSS. La transición será correcta si se realiza dentro del mismo ESS, en otro caso no se podrá realizar.
- **Límites de la red:** los límites de las redes 802.11 son difusos ya que pueden solaparse diferentes BSS.

2.1.5. Principales mejoras incorporadas en 802.11n

A continuación se detalla las mejoras del estándar IEEE 802.11n, describiendo brevemente las características más relevantes, entre otras innovaciones:

1 ACK de bloque (BlockACK)

En sus inicios 802.11, por defecto, contemplaba la transmisión de un acuse de recibo ACK para cada trama de datos unicast recibida, incorporando el tema de calidad de servicio y la agregación de tramas en el estándar 802.11n 2009. El número de tramas en el bloque es limitado y la cantidad de estados que puede mantener el destino es restringida, sin embargo, este esquema puede resultar interesante para aplicaciones de alta velocidad que permiten un nivel de bajas retransmisiones [22].

2. Dualidad de canales

El estándar 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias [22]:

- 2,4 GHz, que emplea 802.11b y 802.11g, y
- 5 GHz, que es usada por 802.11a.

Esto determina que los equipos 802.11n sean completamente compatibles con las versiones WiFi anteriores. Sin embargo, funciona con sólo un esquema de frecuencia a la vez.

Para anchos de banda de 20 MHz y dependiendo de la regulación vigente en la región, se tienen 13 canales para 2.4 GHz (2400-2483 MHz) de los cuales 3 canales no son solapables y para 5 GHz se divide en 3 sub-bandas de frecuencia (5.15-5.35, 5.47-5.725 y 5.725-5.875 GHz) con 12 canales no solapables válidos en la regulación estadounidense.

Las frecuencias centrales de cada canal de 40 MHz se asignan en múltiplos enteros de 5 MHz, y la relación entre frecuencia central y número de canal viene dada por las Ecuaciones 3.1 y 3.2 [22].

- Para 2.4 GHz:

$$F_{\text{central}} = 2407 + 5 \times \eta_{\text{ch}} \text{ (MHz)}, \text{ donde } \eta_{\text{ch}} = 1, 2, \dots, 13 \quad (3.1)$$

- Para 5 GHz:

$$F_{\text{central}} = F_{\text{canal } 1} + 5 \times \eta_{\text{ch}} \text{ (MHz)}, \text{ donde } \eta_{\text{ch}} = 0; 1, \dots, 200 \quad (3.2)$$

3. Ampliación de ancho de banda

Los estándares predecesores de 802.11n utilizan anchos de banda de 20 MHz, con franjas de guarda de 1 MHz a cada extremo y 18 MHz utilizables para datos. Con la ampliación del ancho de banda a 40 MHz se consigue incrementar el tráfico cursado, puesto que para lograr este espacio en frecuencia se agrupa dos canales consecutivos de 20 MHz combinados, con bandas de guarda de 1 MHz lo que permite aprovechar 38 MHz por cada canal, más de dos veces lo obtenido con el esquema anterior, esto implica haber duplicado la capacidad de la información que cursa por un canal [22].

Los canales de 40 MHz son especificados por dos campos dentro de un par: número de canal primario y secundario; donde el primer campo representa el número de canal principal, y el segundo campo indica si el canal secundario está por encima o por debajo

del canal primario (1 y -1, respectivamente). El número de canal secundario se determina con la Ecuación 3.3 [22].

$$N_{canal\ secundario} = N_{canal\ primario} + Secundario \times 4 \quad (3.3)$$

4. OFDM mejorado

El estándar original presentaba muchas complicaciones en cuanto a canales con ruido; por ello se plantea OFDM como opción porque presenta mayor robustez al desvanecimiento selectivo al dividir la señal en varias subportadoras ortogonales moduladas independientemente a velocidades bajas, lo que tiene efecto de transmisión en paralelo. Es justamente este efecto en paralelo que se ve mejorado con el incremento de cada subportadora [22].

El estándar 802.11n debe cumplir los requisitos de interoperabilidad, por ende cumple con las especificaciones de PHY para las generaciones predecesoras, sin embargo, en este nuevo esquema se incrementa el número de sub-portadoras, es así que para un canal de 20 MHz en a/g y 802.11n modo non-HT se tienen 52 subportadoras (48 usables); mientras que en 802.11n modo HT con el mismo ancho de banda se tienen 56 subportadoras (52 usables); y para 802.11n en modo HT con 40 MHz de ancho de banda se tienen 114 subportadoras (108 usables). Las subportadoras son moduladas con BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM; con codificación FEC en tasas de 1/2, 2/3, 3/4 o 5/6 [22].

5. Reducción del intervalo de guarda GI

El intervalo de guarda se utiliza en OFDM para evitar la interferencia inter-símbolo (ISI) que podría ser generada por datos previos, que enviados por distintos caminos llegan con retrasos variables que superan el tiempo de guarda, sin embargo en muchos casos, sobre todo en interiores, este tiempo incorpora un retardo importante sin tener la utilidad requerida [22].

En las normas anteriores se maneja como Intervalo de Guarda (GI, Guard Interval) únicamente 800 ns, inclusive es el GI mandatorio para el estándar 802.11n; sin embargo, se añade la posibilidad de reducir este valor a 400 ns, conocido como SGI (Short Guard Interval); previa negociación entre el transmisor y el receptor; y siempre y cuando se tengan condiciones óptimas en el canal de propagación, es decir, que la diferencia de

tiempo entre el camino más rápido y más lento del radio de propagación sea menor que el valor dado [22].

Los requisitos para utilizar SGI son:

1. La estación debe tener características para HT.
2. Se deben configurar los formatos HT-MF y HT-GF.
3. Se debe ajustar el GI

Se debe puntualizar que el formato HT-GF con un sólo flujo espacial no usa el valor de 400 ns.

6. Tasas de datos superiores a nivel físico

Las tasas de datos en 802.11n son significativamente mejores sobre las conseguidas por 802.11a y 802.11g, fundamentalmente por el uso de la multiplexación espacial (MIMO) y el uso de canales de 40 MHz. Además de esta mejora, también se incluyen mejoras opcionales que incluyen el uso de intervalo de guarda más pequeño, el cual puede ser utilizado bajo ciertas condiciones de canal; y un nuevo formato de preámbulo llamado preámbulo Greenfield [9].

7. Mejora de la eficiencia a nivel MAC

Esta eficiencia se logra gracias a la implementación de la agregación de paquetes y mejoras en el protocolo de Block ACK (introducido en el estándar 802.11e). También se incluyen mejoras como el protocolo de dirección inversa que proporciona una mejora de rendimiento bajo ciertos tipos de tráfico y la utilización de un espacio inter-trama más pequeño (RIFS) [9].

8. Robustez

Esta mejora se consigue inherentemente mediante el incremento de la diversidad espacial dado por la utilización de múltiples antenas. Otras opciones que brinda robustez son el uso de la codificación STBC (Space-Time Block Coding) y un nuevo código de canal LDPC (Low Density Parity Code), entre otros más. Finalmente, debido al gran crecimiento de la utilización de dispositivos móviles, se introduce una nueva técnica de

acceso al canal llamado PSMP (Power-Save Multi-Poll), la cual permite soportar eficientemente un mayor número de estaciones [9].

2.2. Tecnología WiLD

2.2.1. WiFi de Larga Distancia (WiLD)

La tecnología WiFi para Largas Distancias (WiLD) consiste en un procesador, radios, un software especial y una antena; que es capaz de enviar datos desde un punto situado en una ciudad a otro situado en áreas rurales a unos 100 kilómetros de distancia. Esta tecnología podría llevar conexiones a Internet de banda ancha a áreas remotas o zonas pobladas alejadas de infraestructuras de telecomunicaciones. Los índices de transmisión de datos podrían ser suficientes como para usar la plataforma para video conferencias o telemedicina.

La nueva tecnología WiLD es barata y puede ser alimentada incluso con energía solar, la cual permitirá llevar Internet de banda ancha a zonas pobladas donde otras tecnologías diseñadas para casos parecidos, como la conexión vía satélite, no han llegado y son costosos. Además, cablear ciertas zonas rurales es imposible, complicado, costoso y puede ser arrancado de la tierra para venderlo. Por lo tanto, WiLD se utiliza por el bajo costo, y no es regulada las conexiones de red informática de punto a punto, como otros sistemas inalámbricos fijos, redes de telefonía móvil o acceso a Internet vía satélite. Además, WiLD tienen un rango que está limitada por la potencia de transmisión, tipo de antena y la ubicación que se utiliza, y el medio ambiente [21].

Lo normal de esta tecnología es instalar un nodo en las inmediaciones de un área urbana, conectado a una red de cable de área local, luego usando una antena direccional un dispositivo envía datos a una antena receptora situada a unos 100 kilómetros. En distancias superiores, el sistema encuentra dificultades debido a la propia curvatura de la Tierra, por lo que en la práctica, la mayoría de las conexiones serán a una distancia media de unos 50 kilómetros entre punto y punto. Una vez el nodo ha sido instalado en una población que antes no estaba conectada, la conexión se puede dispersar mediante cables y routers inalámbricos convencionales [17].

Realmente, no hay cambio en la tecnología de la antena ni en el hardware, la gran novedad proviene del software que la radio usa para comunicarse con otras antenas, modificando la MAC para soportar enlaces de larga distancia. Ya que si se toma el WiFi convencional, una conexión no pasará de unos cuantos kilómetros, porque las señales de radio llegan hasta 3 km de distancia, para enviar datos a los usuarios. La causa es que una radio enviará datos y esperará a que la otra radio le confirme que, efectivamente, ha recibido los datos enviados. Si la radio que ha transmitido dicha información no recibe una confirmación en un tiempo determinado, asumirá que los datos se han perdido y los volverá a enviar [17].

La modificación de la MAC para soportar enlaces de larga distancia, reescribe las reglas de comunicación de los radios WiFi, porque el software crea un espacio de tiempo específico en el que los dos radios (la emisora y la receptora) escuchan y hablan, por lo que ningún dato extra será enviado para confirmar las transmisiones. No se toma todo el ancho de banda esperando la confirmación, dado que la distancia a transmitir depende del modelo de propagación.

Otra característica, es la de usar los mismos equipos de las tecnologías de comunicación inalámbricas previas, que son baratas y fáciles de alimentar, que sólo proporcionaban conexiones entre puntos situados a unos cuantos kilómetros de distancia. Lo que hace todavía más atractivo, es que requiere poca energía para que funcione, ya que dos o tres radios no necesitarían más de cinco o seis vatios; esto quiere decir que se podría usar energía solar para alimentar los radios [17].

Además, desde el desarrollo del estándar IEEE 802.11, la tecnología se ha convertido menos costosa y logra mayores tasas de bits, por lo que especialmente en la banda de 2,4 GHz han proliferado los dispositivos especializados de muchos vendedores, especialmente para zonas urbanas, pero en algunas zonas rurales se tiene un mayor uso de los transceptores de más largo alcance como alternativas a las aplicaciones de celulares (GSM, CDMA) o inalámbrico fijo (Canopy de Motorola y otros de 900MHz). Los principales inconvenientes de 2,4 GHz frente a estas opciones de menor frecuencia son [21]:

- **Penetración pobre de la señal.** Conexiones de 2,4 GHz se limitan efectivamente a la línea de vista u obstáculos leves.
- **Rango de alcance mucho menor.** Los dispositivos extremadamente pequeños (teléfonos móviles) pueden conectarse de forma fiable a una distancia mayor a 16 Kilómetros a GSM o CDMA.
- **Falta de proveedores de servicios de apoyo comercial de WiLD.** Han surgido en todo el mundo pocos proveedores de servicios comerciales, aplicaciones comerciales y residenciales de WiLD. Pero se está utilizando WiLD en los ensayos experimentales en el mundo en desarrollo para vincular a las comunidades separadas por la geografía dificultosa, con opciones de conectividad. Pero algunos proveedores de interés de WiLD incluyen las siguientes ventajas:
 - ✓ **Sin licencia del espectro.** Para evitar las negociaciones con los proveedores históricos de telecomunicaciones, gobiernos u otros.
 - ✓ **Antenas pequeñas, más simples y más baratas.** Antenas de 2,4 GHz son menos de la mitad del tamaño de las antenas similares de 900MHz y requieren menos protección contra rayos.
 - ✓ **Disponibilidad de software libre probado como DITG, IPERF, OpenWrt, DD-WRT.** Que funcionan incluso en los routers antiguos y hacen que los modos como WDS, OLSR, etc., sean disponibles para cualquier persona.

2.2.2. Elección del estándar 802.11 para establecer un enlace WiLD

La elección del estándar 802.11, se basó principalmente en tres pilares [8]:

1. Uso de bandas de frecuencias no licenciadas.
2. Bajo costo de equipos en comparación con otras tecnologías.
3. Existencia de trabajos previos en enlaces de larga distancia utilizando 802.11.

La tecnología WiFi fue diseñado para redes inalámbricas de área local, sin embargo, realizando un estudio del estándar 802.11, se establece que modificando los valores de

ciertos parámetros de la subcapa MAC, se puede implantar un enlace de larga distancia utilizando esta tecnología.

A continuación se puede ver los inconvenientes para la implementación de una red WiFi de larga distancia en capa física, subcapa MAC y estándar 802.11 [8]:

- 1. Capa física.** A nivel de capa física los mayores inconvenientes se deben a las problemáticas propias de los enlaces inalámbricos, tales como: pérdidas por propagación, pérdidas en conectores e interferencias, y no a restricciones propias del estándar 802.11. Con respecto a lo que se especifica en el estándar, las limitaciones están dadas por los rangos de frecuencia soportada y por las velocidades de transmisión disponibles para cada rango; de acuerdo a la modulación y codificación utilizada.

- 2. Subcapa MAC.** A partir de los modos de funcionamiento que propone el estándar en subcapa MAC, se puede ver los siguientes inconvenientes para la implementación en larga distancia:
 - **ACKTimeout¹.** Luego de enviar una trama, la fuente aguarda la confirmación de recepción ACK², un tiempo conocido como ACKTimeout. Si transcurrido el ACKTimeout no se recibió la confirmación de la trama, la misma se da por perdida y se retransmite. Al haber tanta distancia entre las partes, el tiempo de respuesta aumenta, esto lleva a que si no se modifica este parámetro de forma que el ACKTimeout sea mayor al tiempo de propagación de ida y vuelta más el SIFS (Corto espacio entre tramas), se den por perdidos paquetes que se encuentran en viaje y sean retransmitidos innecesariamente. El enlace entonces no funciona o lo hace con un rendimiento muy inferior al esperado.
 - **SlotTime (Duración de slot).** Depende de la capa física PHY y determina tiempos definidos en la subcapa MAC. En el estándar se prevé que la estación receptora reciba la trama dentro del mismo SlotTime que fue enviado. Este

¹ **ACKTimeout.** Se define como el tiempo que una estación espera la confirmación ACK de un paquete que ha mandado antes de darlo por perdido y volverlo a enviar.

² **ACK (ACKNOWLEDGEMENT,** en español acuse de recibo), en comunicaciones entre computadores, es un mensaje que se envía para confirmar que un mensaje o un conjunto de mensajes han llegado.

parámetro influye directamente en la probabilidad de que se generen colisiones en el acceso al medio.

- **Detección virtual del estado del canal.** Para evitar el problema del nodo oculto, se utilizan mensajes RTS/CTS (Request-To Send y Clear-To-Send) donde se indica el tiempo en que el canal será utilizado por una estación. Al variar de forma considerable los tiempos con la distancia, y dado que esto no se contempla al determinar este parámetro, este procedimiento no cumpliría su función. Como contrapartida, al tratarse de un enlace punto a punto el problema no tendría mayores consecuencias.

3. **Estándar 802.11.** En su versión original 802.11 no preveía garantías de calidad de servicio (QoS) tanto en ancho de banda, pérdida de paquetes o retardo. En 2009 fue aprobado el estándar 802.11n que sí da soporte de QoS a nivel MAC.

Si bien hay experiencias previas simulando enlaces de larga distancia utilizando 802.11 y existen enlaces de varias decenas de kilómetros utilizando 802.11g, el fin de este proyecto es evaluar IEEE 802.11n en un enlace punto a punto de aproximadamente 50 kilómetros.

2.2.3. Aplicaciones de la tecnología WiLD

Las aplicaciones relevantes que se obtiene con la tecnología WiLD, se muestran a continuación [21]:

1. Negocios

- Dar cobertura a una oficina grande o complejo de negocios.
- Establecer enlaces punto a punto entre edificios.
- Llevar Internet a los sitios de construcción o laboratorios de investigación.

2. Residencial

- Llevar Internet a una casa si el cable/DSL normal no se puede conectar en el lugar.
- Llevar Internet a una casa de campo en una montaña remota o en un lago.
- Llevar Internet a un yate o embarcación de gran tamaño.
- Compartir red WiFi en un barrio.

3. Sociales

- En las regiones turísticas, cubrir las zonas muertas con cobertura WiFi, y garantizar la conectividad de los operadores turísticos locales comerciales.
- Tener una infraestructura inalámbrica de seguridad más robusta mediante la aplicación de cifrado y autenticación moderna, y reducir los costos de la infraestructura de red inalámbrica respecto a la infraestructura cableada.
- Llevar conexiones a Internet de banda ancha a zonas pobladas alejadas de infraestructuras de telecomunicaciones, en los países menos desarrollados.
- La creación de enlaces punto a punto en el mundo en desarrollo, para conectar un hospital con varias clínicas periféricas. Estos enlaces permiten a los especialistas en el hospital comunicarse con las enfermeras y los pacientes en las clínicas a través de videoconferencia.

4. Militares

- Construcción de una infraestructura resistente con equipos más baratos en una empobrecida región devastada por la guerra.
- Utilizar una tecnología de red de clase militar, mediante el uso de herramientas comerciales de calidad.
- Reducir costos y simplificar/proteger las cadenas de suministro, mediante el uso de equipos más baratos que consumen menos combustible y energía de la batería.

5. La investigación científica

- Conectar a las estaciones periféricas con sensores sísmicos para recibir los datos en tiempo real.

2.2.4. Aumento del rango de acceso en tecnología WiLD

Para aumentar el alcance de una transmisión WiFi en largas distancias y obtener el máximo rendimiento de una conexión, se tiene que tomar en cuenta las siguientes consideraciones [21]:

1. Canales WiFi especializados

En la mayoría de los routers WiFi estándar 802.11a/b/g los canales son suficientes, pero en WiLD se debe utilizar tecnologías especiales para obtener el máximo rendimiento de una conexión WiFi. El estándar 802.11-2007 añade 10 MHz y 5 MHz en modo OFDM

para el estándar 802.11a, y prolonga el tiempo de protección de prefijo cíclico de 0,8 ms a 3,2 ms, cuadruplicando la protección de la distorsión de trayectoria múltiple. Algunos conjuntos de chips 802.11a/b comúnmente disponibles apoyan OFDM medio-reloj y cuarto-reloj que es el estándar 2007. Algunos chipsets 802.11n D.20 también prestan apoyo a medio-reloj para su uso en 10 MHz de banda de canal, y el doble del rango de la norma 802.11n.

2. 802.11n y MIMO

Para aumentar la velocidad la tecnología 802.11n puede utilizar múltiples antenas que apuntan una o a más fuentes, utilizando antenas duales con las polaridades ortogonales junto con un chipset MIMO 2x2 a dos señales portadoras independientes, para ser enviadas y recibidas en la ruta de larga distancia. En las pruebas, el aumento de velocidad se dice que ocurre sólo en distancias cortas en lugar de largo alcance; para la mayoría de las configuraciones de punto a punto.

3. Aumento de la sensibilidad del receptor

Para aumentar la sensibilidad del receptor se utiliza un amplificador de potencia, que es un pequeño dispositivo de suministro que por lo general tiene alrededor de 0.5 watt de energía que suministra a la antena. Estos amplificadores pueden tener un alcance de más de cinco veces de una red existente, porque con cada 6 dB se obtiene el doble de ganancia. Para la selección de un adaptador de WLAN debe ser considerado más sensible y una antena más directiva.

4. Antenas de gran ganancia

Las antenas de alta ganancia pueden ser de varios diseños, pero todos permiten la transmisión de un haz de señal estrecha a distancias de varios kilómetros, a menudo anulando las fuentes cercanas de interferencias. Estas antenas son del tipo direccionales que pueden aumentar el alcance de una transmisión WiFi sin un drástico incremento en la potencia de transmisión. Un popular método de bajo costo de fabricación casera aumenta los rangos WiFi, con sólo colocar el hardware estándar USB WLAN en el punto focal parabólico modificado WokFi (Wok + Wi-Fi, antena WiFi simple y de bajo costo hecha en Asia). Esta técnica generalmente producen ganancias de 12 a 15 dB en línea de visión directa (LOS) que oscila en varios kilómetros.

5. Protocolo de hacking

El protocolo del estándar IEEE 802.11 puede ser modificado en implementaciones de larga distancia punto a punto, a riesgo de romper la interoperabilidad con otros dispositivos WiFi y de las interferencias de transmisores situados cerca de la antena. Además, de los niveles de energía también es importante saber cómo la utilización del protocolo 802.11 reconoce cada trama recibida. Por defecto, la distancia máxima entre el transmisor y el receptor es de 1,6 km, lo que en distancias más largas el retraso obligará a las retransmisiones. En general, el software de código abierto es muy superior al firmware comercial a todos los efectos de la participación del protocolo hacking, y la filosofía consiste en exponer todas las capacidades del chipset de radio y dejar que el usuario los modifique. Esta estrategia ha sido especialmente eficaz con los routers de gama baja.

2.2.5. Los obstáculos para implementar WiLD

Una conexión WiFi también puede ser más frágil y volátil, debido a los problemas vanos, tales como:

1. La interferencia del terreno montañoso.

Los obstáculos son algunos de los mayores problemas al configurar una red WiLD. Los árboles y bosques degrada la señal de microondas, y las colinas hacen que sea difícil establecer la línea de vista de propagación. En una ciudad, los edificios afectan la integridad, la velocidad y conectividad, también los marcos de acero en parte reflejan las señales de radio, y las paredes de concreto o yeso absorben las señales de microondas de manera significativa, pero la chapa metálica en las paredes o los techos pueden reflejar de manera eficiente señales WiFi, causando una pérdida casi total de la señal.

2. Desvanecimiento de las olas.

En las conexiones inalámbricas cruz punto a punto en archipiélagos, se producen múltiples interferencias de la señal a partir de reflexiones sobre el agua, que pueden ser consideradas las más destructivas de la señal. Para mitigar las interferencias de la señal en las olas se puede utilizar una técnica de proceso lento de saltos de frecuencia.

3. Interferencias en 2.4 GHz.

En la banda de 2,4 GHz hay muchas fuentes de interferencia por los equipos domésticos, que se agregan en un obstáculo formidable para permitir el uso de WiLD en

las zonas habitadas. Estos equipos son: teléfonos inalámbricos residenciales, hornos de microondas, monitores de bebés, cámaras inalámbricas, arrancadores remotos de automóviles, y productos de Bluetooth. Debido a que en la banda de 2,4 GHz, hay muchos usuarios de esta banda, con al menos 2 o 3 equipos por hogar, por lo que un sistema de antenas de largo alcance puede ser interferido por estos dispositivos.

2.3. Tecnologías inalámbricas para larga distancia

2.3.1. Tecnologías Inalámbricas

Las tecnologías inalámbricas permiten una comunicación entre el emisor y el receptor que no están unidos por cables, los elementos físicos que emiten y reciben el mensaje se encuentran solamente en el lugar de emisión y recepción, respectivamente. En estos casos la transmisión de datos toma lugar en una red inalámbrica, a través de diferentes puertos. Una red inalámbrica puede ser de corta o de larga distancia. Una de larga distancia es utilizada para comunicaciones entre diferentes ciudades, mientras que una de corta distancia es usada dentro de un mismo edificio, o entre varios edificios cercanos [18].

Las redes inalámbricas no necesitan hacer su conexión mediante un alambre, sino que también se puede hacer por el uso de satélites, un láser y microondas; esto no significa que vayan a remplazar las redes alámbricas, pero muchas de las redes inalámbricas son más rápidas, en algún momento se espera que éstas lleguen a alcanzar hasta los 100 Mbps. Lo que diferencia a una red alámbrica de una inalámbrica es la capa de enlace de datos y la capa física, porque la red alámbrica se da por medio de la transmisión de información de un conductor que lleva corriente eléctrica, mientras que la red inalámbrica se da mediante la información que viaja en forma de ondas electromagnéticas.

Hay dos amplias categorías de redes inalámbricas, las cuales son:

1. De corta distancia. Que llega alcanzar hasta 2 Mbps y se usan para un mismo edificio.

- **Bluetooth.** Facilita la transmisión de datos y voz entre dos o más diferentes dispositivos, a través de un enlace de radiofrecuencia con banda ISM de 2,4 GHz. Este tipo de tecnologías inalámbricas se encuentran en teléfonos móviles, computadoras personales o portátiles, cámaras digitales, e impresoras, entre otros.

- **Infrarrojo.** Se usa para manos a distancia, de este modo no interfieren con otras señales electromagnéticas

2. De larga distancia (Redes de Area Metropolitana MAN). Son utilizadas para distancias de hasta de un país a otro. Las redes de este tipo más comunes son: red WiMax y red WiFi, que describen a continuación:

- **Red WiMax.** Emplea ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 Ghz, entre sus características están distancias de hasta 80 kilómetros, velocidades de hasta 75 Mbps, facilidades para añadir más canales, anchos de banda configurables y no cerrados, y la posibilidad de dividir el canal de comunicación en pequeñas subportadoras.
- **Red WiFi.** Es una unión de redes inalámbricas que pueden establecer comunicaciones a una cierta velocidad, que llega a alcanzar hasta los 100 Mbps. Usan dispositivos, tales como: routers, puntos de acceso y repetidores, y tarjetas receptoras como PCI y USB. Una red de este tipo tiene ciertas ventajas como una mejor comodidad a las redes cableadas, acceso de múltiples computadores, y compatibilidad entre otros dispositivos WiFi. Sin embargo, las redes WiFi también tienen desventajas, como menor velocidad y pérdida de señal, e incompatibilidad con otras tecnologías wireless.

2.3.2. Tecnologías Inalámbrica para Larga Distancia

A continuación se indican las tecnologías inalámbricas de larga distancia que más se utilizan:

1. WiMAX de banda ancha
2. Redes WiMAX
3. Satélite
4. Redes inalámbricas regionales (WRAN)

Las cuales serán descritas con más detalle en los siguientes ítems:

1. WiMAX de banda ancha

WiMAX (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), es un estándar de transmisión inalámbrica de datos, de la familia de estándares IEEE 802.16 y HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI, proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa (NLOS, no línea de vista). WiMAX se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de corto alcance y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana [19].

El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10-66 GHz y requería torres para visión directa (LOS, línea de vista). La nueva versión 802.16a, ratificada en marzo de 2003, utiliza una banda del espectro más estrecha y baja, de 2 a 11 GHz, facilitando su regulación. Como ventaja añadida, no requiere de torres donde exista enlaces del tipo LOS, sino únicamente del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS), que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos. Su instalación es muy sencilla y rápida y su precio es mayor en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico como WiFi [20].

Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias y soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS). Está basada en OFDM y tiene 256 subportadoras que puede cubrir un área de 48 kilómetros permitiendo la conexión sin línea de vista, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con una eficiencia espectral de 5,0 bps/Hz, y dar soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 a 20 MHz.

Luego se crea el estándar 802.16d que sólo sirve para aquellos terminales que están en un punto fijo, por lo que el 7 de diciembre de 2005 la IEEE aprueba el estándar 802.16e del WiMAX MÓVIL, que permite utilizar este sistema de comunicaciones inalámbricas con terminales en movimiento, lo que es posible diseñar infraestructuras mixtas fijo-móviles.

Intel Corporation en el año 2005 lanza un chip de computadora que se conoce como tecnología inalámbrica de largo alcance, que está diseñado para una nueva tecnología

inalámbrica de alta velocidad capaz de ofrecer un servicio de banda ancha sobre los 48 kilómetros. Esta tecnología podría complementar o incluso reemplazar las conexiones por cable o DSL para los usuarios de Internet de alta velocidad, especialmente en zonas rurales, donde este tipo de conexiones por cable no están ampliamente disponibles. Esto permitiría a los hogares, negocios y zonas rurales, recibir servicio de alta velocidad a Internet de forma inalámbrica en lugar de a través de cable o líneas telefónicas [19] [20].

WiMax funciona dentro de las frecuencias del espectro inalámbrico de los Estados Unidos en el rango de 2.5 y 5.8 GHz, pero algunos productos pueden operar a frecuencias más bajas.

2. Redes WiMAX

Las redes WiFi conllevan a la demanda de WiMAX para la proliferación de acceso inalámbrico, mediante una malla combinada de WiFi e implementada en WiMAX, que es una implementación exclusiva de antena direccional de WiFi o una malla de WiFi conectada con backhaul (nuevo recorrido) protegido con alambre. Es decir, WiMAX puede agregar redes de WiFi (como malla se conectan topologías y hotspots) y usuarios de WiFi para el backend, mientras WiMAX le ofrece un backhaul de gran distancia y solución de última milla. A continuación se muestra las características del estándar WiMAX (802.16-2004) [19]:

a. La mejor solución

Las redes WiFi y WLANs coexisten con la red WiMAX, que cubren áreas grandes y de última milla, con una solución que varía de acuerdo a los modelos de uso, el tiempo de implementación, la posición geográfica y la aplicación de red tanto en datos, VoIP y video. Cada implementación puede estar hecha de acuerdo a la medida a la que mejor se adapte las necesidades de la red de usuarios. Las recomendaciones para las implementaciones son:

- Una aplicación con 802.16-2004 se adapta en las áreas rurales.
- El intercambio de redes autorizadas de WiFi trae consigo la posibilidad de un servicio inalámbrico barato para las áreas urbanas y suburbanas.
- WiMAX 802.16-2004 le provee conectividad inalámbrica de banda ancha a las áreas más allá del alcance de la banda ancha tradicional (xDSL y T1) y permite el crecimiento de la topología de WiFi de la red de malla.

b. WiMAX Fijo

El estándar del 802.16-2004 del IEEE, el cuál reemplaza las versiones del IEEE del 802.16a y 802.16d, fue diseñado para el acceso fijo, llamado fijo inalámbrico y que funciona desde 2.5 GHz autorizado, 3.5 GHz y 5.8 GHz, porque usa una antena parecida a un plato de la televisión satelital, que se coloca en el lugar estratégico del suscriptor; en el mástil sobre el techo de una casa.

c. WiMAX Móvil

El estándar del 802.16e del IEEE es una mejora para la especificación de la base 802.16-2004 y se orienta a la portabilidad y la habilidad para clientes móviles con IEEE. Este estándar usa Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), el cual es similar a OFDM en que divide las subportadoras múltiples que se agrupa en subcanales, y mejora la entrega de la última milla en varios aspectos cruciales, tales como: la interferencia del multicamino, el retraso difundido y la robustez.

Además, el Control de Acceso a Medios emergente del 802.16-2004 es optimizado para enlaces de gran distancia, porque es diseñado para tolerar retrasos más largos y variaciones de retraso, lo que este retraso y la interferencia del multicamino mejora el desempeño de la interconectividad, en situaciones donde no hay una línea de vista directo entre la estación base y la estación del suscriptor..

3. Satélite

En principio, la conexión por satélite es un soporte para conectarse a Internet a alta velocidad como cualquier otra tecnología inalámbrica de banda ancha, tales como: ADSL, cable, la red eléctrica (PLC) o la tecnología UMTS; porque los satélites pueden recibir y transmitir señales de radio, de televisión, de telefonía o cualquier otro tipo de datos. Este tipo de conexión no es la más conocida ni la más usada; tampoco la más barata ni la más sencilla, pero es el mejor sistema de acceso rápido en aquellos lugares remotos, especialmente en el ámbito rural y las zonas de alta montaña, donde no llega el ADSL o el cable; que son las dos formas más extendidas de conectarse a Internet por banda ancha. Pero en una ciudad constituye un sistema alternativo a los usuales, para evitar cuellos de

botella debido a la saturación de las líneas convencionales y un ancho de banda limitado [24].

La emisión y recepción satelital es muy parecido a las plataformas de televisión digital, ambos utilizan el mismo estándar DVB (Digital Video Broadcasting), y un protocolo que se usa para la transmisión desde satélites. Por lo que el usuario que desee tener una conexión a Internet por satélite, deberá disponer de los siguientes equipos: una antena parabólica, un descodificador, un módem para satélite, y de un proveedor de Internet. La señal del satélite es captada por la antena, que la lleva hasta el descodificador y de éste pasa a través de un cable al módem del computador.

Sin embargo, hay una diferencia con respecto a la televisión por satélite, porque Internet es interactivo y no se trata sólo de recibir datos, sino también de que el usuario los envíe, por eso, hay dos formas de tener conexión a Internet a través de un satélite [24]:

- a. **Acceso unidireccional.** En este caso sólo se pueden recibir datos. El canal de entrega de datos (lo que se baja de la red) se realiza vía satélite y el retorno (lo que se sube a la red) es a través de redes terrestres. Así, para enviar y recibir datos desde Internet se necesita además una conexión terrestre telefónica, por cable, etc.
- b. **Acceso bidireccional.** El canal de entrega de datos y el canal de retorno se transmiten vía satélite, por lo que el usuario deberá disponer de un módem que sea capaz de recibir y enviar datos.

Las administraciones públicas y algunas grandes empresas son las que más recurren a conectarse a Internet por satélite, porque la conexión de banda ancha a través de un satélite ofrece las siguientes ventajas:

- a. **Amplia cobertura y ubicuidad.** La conexión por satélite permite tener acceso a Internet a todas partes e incluso cuando se está viajando, para lo cual se necesita una antena móvil de apenas cinco centímetros que da acceso a la red y a canales de televisión desde un vehículo, un tren o un avión
- b. **Alta velocidad.** La velocidad de recepción de datos es mayor, porque la conexión satelital ofrece un ancho de banda mucho mayor que el ADSL o el cable.

- c. **Fiabilidad y seguridad.** Los riesgos de interrupción del servicio o de fallos en el sistema son sensiblemente menores que con otras conexiones de banda ancha.
- d. **Servicio de televisión añadido.** El usuario no sólo tendrá acceso a la red, sino que además dispondrá de una amplia oferta de televisión por satélite.

La conexión a Internet por satélite tienen más inconvenientes que ventajas, por lo que no está en condiciones de competir con otras formas de acceso, esto se debe a las siguientes razones:

- **Precio.** Es mucho más caro que el ADSL, porque requiere una fuerte inversión inicial para adquirir los equipos necesarios e instalarlos, tales como: antena, decodificador, módem y computadora, y las cuotas mensuales aumentan dependiendo de la velocidad de acceso que se contrate.
- **Complejidad.** La instalación de una antena parabólica necesita de un técnico, que también tiene un alto costo, en relación a la instalación de una conexión por ADSL que es sencillo, sobre todo desde que todos los operadores ofrecen kits autoinstalables.
- **Vulnerabilidad.** Utiliza la conexión en el espacio radioeléctrico que es vulnerable a ser violentada, por lo que no es recomendable para aplicaciones de voz. Para evitar que eso suceda, es necesario cifrar todos los datos enviados a la red a través del servidor Performance Enhancement Proxy, que cifra la comunicación digital.
- **Retardo.** El retraso en la transmisión debido a conexiones largas por satélite, puede ser mayor que con otras alternativas, si bien se trata sólo de medio segundo, algo casi inapreciable para los sentidos humanos.
- **Incidencias atmosféricas.** Existe grave riesgo de interrupción del servicio, en condiciones de climatología adversa como tormentas, huracanes, etc.; aunque no suele ocurrir con frecuencia

4. Redes inalámbricas regionales (WRAN)

La IEEE aprobó en julio del 2011 el nuevo estándar IEEE 802.22 para redes inalámbricas regionales (WRAN), que permitirá a los fabricantes hacer dispositivos que tendrán un alcance de 100 kilómetros de radio, ofreciendo velocidades de hasta 22 Mbps. Este estándar vendría a ser como una señal WiFi pero mucho más amplia, de alta velocidad y con mucha más capacidad [19].

El estándar IEEE 802.22 aprovecha las bandas de frecuencia de televisión VHF y UHF para transmitir la señal de Internet, en base al uso del ruido blanco, que es un espacio desocupado entre las frecuencias de dos canales adyacentes de TV analógico, en el espectro electromagnético que usa la TV analógica para no producir interferencia entre las señales de dichos canales. Con la utilización de la televisión digital este espacio es inútil y será liberado, porque no produce confusiones de las señales cuando se empiecen a usar señales digitales, por lo que este espectro se puede usar para otras aplicaciones [22].

Cabe indicar que esta tecnología no interfiere en la señal de imagen emitida, abarcando hasta 100 kilómetros a la redonda con un sólo equipo, por lo que es especialmente útil en: poblaciones con poca densidad como zonas rurales, lugares donde no hay mucho acceso a internet como países en desarrollo o zonas más aisladas, donde hasta ahora había dificultades para el envío y recepción de la señal de forma más eficiente, y como alternativa a la tecnología por satélite [23]. El problema consiste en que no todos los países han pasado a TV digital, y todavía no han regulado qué hacer con el espectro de las bandas de frecuencia de televisión VHF y UHF, así que por el momento sólo está en el terreno de la posibilidad.

En el caso de Estados Unidos que ya está más avanzado sobre TV digital, el espectro liberado ahora va entre los 54MHz a los 698MHz, el cual podrá ser usado por estas redes WRAN.

2.3.3. Tecnologías inalámbricas y sus repercusiones sociales

El avance tecnológico en los últimos años conlleva al uso de: las computadoras, el acceso al Internet, la telefonía y las redes corporativas, entre otras; las cuales tienen conectados todos los dispositivos computacionales en forma inalámbrica casi desde cualquier parte, gracias al Bluetooth, las redes WiFi, el WiLD, la red Wimax y demás tecnologías inalámbricas que han proliferado con el tiempo. Todo esto permite el libre acceso a la red inalámbrica facilitando numerosas tareas diarias, pero se puede caer en la trampa de olvidar la humanidad y relegar la interacción uno a uno a un segundo plano, ya que la interacción social se lo realiza mediante un equipo tecnológico [18].

Ahora que la red WiMAX o red inalámbrica WiLD está penetrando como doctrina en la sociedad, debido a que estas y otras tecnologías inalámbricas conectan una persona con las demás, cabe aquí cuestionarse si este progreso de las tecnologías inalámbricas es un avance o un retroceso, por lo que se debe analizar los contras de las tecnologías inalámbricas, y hacia a dónde evolucionará la tendencia de olvidar la humanidad.

En definitiva el Internet inalámbrico constituye un avance en el plano laboral, pero podría estar sustituyendo la calidez humana, y las repercusiones sociales de una dependencia a las tecnologías inalámbricas redefine las interacciones entre seres humanos para desplazarlas al ámbito de la tecnología.

Capítulo 3

Materiales y Métodos

3.1. Hardware

Se justifica la utilización de la red WiFi de Larga Distancia (WiLD) por las siguientes razones:

- **Bajo costo.** Porque utiliza tecnologías de comunicación inalámbrica WiFi convencional existente y fácil de obtener. Además, es más económico que otra tecnología de comunicación inalámbrica para largas distancias como WiMAX.
- **Viable.** Por aplicaciones similares implementadas en otros países, tales como: India, Venezuela, Perú, etc. [5].
- **Infraestructura existente.** Utilización de la mayor parte de la infraestructura que cuenta el WiFi convencional, como: cableado, antenas omnidireccionales, alimentación, etc.
- **Ventajas del estándar 802.11.** A pesar que este estándar fue concebido para distancias cortas, se puede utilizar para las comunicaciones de largas distancias, con las ventajas: bajo costo, uso de frecuencias libres y gran ancho de banda.

Esta red permitirá llevar Internet de banda ancha a zonas pobladas rurales donde otras infraestructuras de telecomunicaciones no han llegado, por ser muy caras, con una comunicación de manera inalámbrica entre dos puntos situados hasta centenas de kilómetros de distancia. Lo que será especialmente útil en los países menos desarrollados,

que las personas, las instituciones públicas o privadas usen la red WiLD, para que puedan conectarse a Internet, video conferencias o telemedicina.

La tecnología inalámbrica de la red WiLD, consiste en una tarjeta procesadora, una tarjeta de radio, un software y una antena direccional, siendo la instalación de este tipo de red muy simple, ya que se debe instalar un primer nodo en las inmediaciones de un área urbana, conectado a una red de cable de área local, luego usando una antena direccional, el radio envía datos a una antena receptora situada a unos cientos de kilómetros. Por último, una vez que un segundo nodo ha sido instalado en una población que antes no estaba conectada, la conexión se puede dispersar mediante cables y routers inalámbricos convencionales, o mediante una red inalámbrica con router inalámbrico, radio y una antena omnidireccional.

En realidad no se realiza modificaciones en el hardware, solo se cambia ciertos parámetros en el software que la radio usa para comunicarse con otras. Pero se debe tener en cuenta que en distancias superiores a 100 kilómetros, el sistema encuentra dificultades debido a la propia curvatura de la tierra. En la práctica, la mayoría de las conexiones se harán a una distancia máxima de unos 70 kilómetros entre punto y punto.

Para obtener la red WiLD, se debe tener en cuenta que en WiFi convencional no se pasa de unos cuantos kilómetros, la causa es que una radio enviará datos y esperará a que la otra radio le confirme que, efectivamente, ha recibido los datos enviados; si la radio que ha transmitido dicha información no recibe una confirmación en un tiempo determinado, asumirá que los datos se han perdido y los volverá a enviar. Por consiguiente, para la red WiLD se debe reescribir nuevas reglas de comunicación de las radios WiFi, mediante su software de configuración. Estas reglas consisten, en crear un espacio de tiempo específico en el que las dos radios (la emisora y la receptora) escuchan y hablan, por lo que ningún dato extra será enviado para confirmar las transmisiones, para lo cual no se está tomando todo el ancho de banda esperando la confirmación.

3.1.1. Estudio de la Red de Larga Distancia ESPE

La metodología para obtener una red de larga distancia de la ESPE, va a consistir en analizar las siguientes características:

1. Determinación de los equipos que permitan la modificación de parámetros que soporten WiLD
2. ¿Qué parámetros les permiten modificar los equipos?
3. Pasos para llegar a los resultados deseados

A continuación se describen cada una de estas características:

1. Determinación de los equipos que permitan la modificación de parámetros que soporten WiLD

El router o repetidora inalámbrica es el equipo que permite la modificación de los parámetros de la capa MAC, para dar acceso por WiFi en redes WiLD mediante enlaces punto a punto. El router inalámbrico será construido mediante una tarjeta ALIX fabricada por la empresa *PCEngines*, para sustituir a WARP que es un sistema embebido de bajo costo que se utiliza para la construcción de routers, firewalls, balanceadores de carga, etc.

La elección de la Tarjeta ALIX se basa en los siguientes parámetros: potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, temperatura y humedad soportada en operación, así como los chipset incorporados. Los chipset son importantes debido a que disponen de soporte para un Software Operativo GNU/Linux para todos los modos ya sean Master, Managed, Ad-hoc y Monitor; lo que permite construir puntos de acceso, puentes, repetidores. Las Tarjetas ALIX permiten trabajar con dos tipos de chipsets (*Intersil Prism 2.5* y *Atheros*), con modelos que transmiten desde 80 a 600mW. Se debe tener muy en cuenta usar como controladores de las interfaces inalámbricas el driver *Hostap* para el caso de tarjetas con chipset *Intersil Prism 2.5* y *MadWifi* para tarjetas con chipset *Atheros* [48].

2. ¿Qué parámetros les permiten modificar los equipos?

Los dispositivos inalámbricos han estado tradicionalmente limitados en cuanto al rango de distancia, debido al diseño inherente del estándar 802.11. Las empresas han incorporado un nuevo chipset a sus productos inalámbricos, para soportar implementaciones de larga distancia usando wireless 802.11. Los dispositivos inalámbricos están mejorados con la capacidad de ajustar parámetros manualmente, tales como: SlotTime, ACKTimeout y CTSTimeout; para lograr un mayor alcance. Los softwares

también proporcionan valores recomendados para los parámetros y al mismo tiempo permite afinamiento manual para un rendimiento óptimo, ésta mejora incluye la implementación de redes inalámbricas de largo alcance punto a punto y punto a multipunto; a un costo reducido [50].

Por lo tanto, el ajuste de los parámetros *ACKtimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*, es lo que permite la implementación de redes inalámbricas para mayores alcances con dispositivos WiFi. Además, de estos ajustes, se deben tomar en cuenta algunos parámetros de los dispositivos WiFi, como son; potencia de enlace, ganancia de las antenas, pérdidas en cables de antena, sensibilidad del receptor y el efecto del tiempo de propagación de las señales de radio. Esto con el fin de utilizar dispositivos que puedan satisfacer las interconexiones entre nodos.

En la tarjeta ALIX el driver *Madwifi* permite modificar el valor de los parámetros *ACKtimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*, por lo tanto permite tener un mejor control de las prestaciones del sistema, mientras que el driver *Hostap* no permite modificar los valores anteriores, sin embargo, las tarjetas con el driver *Hostap* posee un valor mayor de *ACKtimeout*, de manera que pueden ser usados con prestaciones aceptables en enlaces largos de hasta 30 km [48].

A continuación se describe los parámetros *ACKtimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*:

- **ACKTimeout.** Es el tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK una vez que ha terminado la transmisión de un paquete.
- **CTS** (Clear to Send - Significa que un nodo está libre para enviar). Es un mensaje que el destinatario entrega al receptor para indicar que el canal de radio no se encuentra ocupado y por ende evita colisiones en el mismo.
- **SlotTime.** Los valores de SlotTime SIFS y DIFS imponen restricciones al funcionamiento de la MAC de WiFi, a partir de ciertas distancias. El estándar prevé que las estaciones que transmiten son escuchadas por las otras dentro del mismo *slot* en que se ha producido la transmisión, lo cual impone un límite de

unos 3 km. Más allá de esa distancia, las prestaciones de los enlaces empeoran con la distancia, aunque aún resultan utilizables si el número de nodos activos es suficientemente bajo.

En cuanto a un entorno inalámbrico y celular se presenta una serie de problemas por los Nodos Ocultos y Nodos Expuestos, pero en una transmisión punto a punto, como en la aplicación del presente proyecto, no intervienen estos problemas.

3. Pasos para llegar a los resultados deseados

Para tener un buen funcionamiento de redes WiFi para largas distancias con cualquier estándar IEEE 802.11, se deben realizar los siguientes pasos.

- a. Determinar la topología de la red WiLD
- b. Definir las direcciones IP de la red WiLD
- c. Para cada router determinar los parámetros ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime
- d. Configuración de la tarjeta ALIX como router
- e. Montaje de los equipos en las torres
- f. Ubicación de las antenas omnidireccionales

3.1.2. Routers inalámbricos de Larga Distancia. Tarjetas ALIX

En este subtema se va a analizar los routers en general, tomando como base los routers inalámbricos, en este caso el router debe ser para la aplicación inalámbrica de larga distancia, el cual debe funcionar con el estándar 802.11n. Estos routers inalámbricos se les conoce como WiFi-N 802.11n, que en el presente proyecto va hacer implementado mediante una tarjeta ALIX, la misma que debe ser programada mediante un software que permite obtener el router armado. También se debe determinar el sistema operativo que utiliza esta tarjeta, la tarjeta de radio que se va a disponer, y las salidas con antenas a utilizar.

1. Routers

El router trabaja en el nivel de red del modelo de referencia OSI, esto significa que pueden conmutar y encaminar paquetes a través de múltiples redes, intercambiando

información específica de protocolos entre las diferentes redes, porque leen en el paquete la información de direccionamiento de las redes.

El router trabaja a nivel de red determinando las siguientes funciones [28]:

- Especifica qué enviar y también dónde enviarlo.
- Reconoce una dirección y el tipo de protocolo de red.
- Puede identificar las direcciones de otros routers y determinar los paquetes que se envían a otros routers.
- Puede buscar diferentes caminos activos y determinar en un momento determinado cuál ruta resulta más adecuada para transmisión.
- Trabaja sólo con protocolos encaminables.
- Filtra las direcciones y envía protocolos particulares a direcciones determinadas a otros routers.
- Filtrado y aislamiento del tráfico.
- Conexión de segmentos de red.

En resumen, los routers se utilizan en redes complejas puesto que proporcionan una mejor gestión del tráfico, mejor entrega de los paquetes, y pueden compartir con otro router el estado y la información de encaminamiento, y utilizar esta información para evitar conexiones lentas o incorrectas.

2. Router inalámbrico

Un router inalámbrico es un dispositivo que realiza las funciones de un enrutador, pero incluye también las funciones de un punto de acceso inalámbrico y un conmutador de red, que permite el acceso a Internet o a una red de computadoras sin la necesidad de una conexión cableada. Algunos routers inalámbricos incluyen una DSL ((Digital Subscriber Line - Línea de Abonado Digital) o módem de cable, además de sus otros componentes, los cuales pueden funcionar en una red de área local cableada, una red sólo LAN inalámbrica (WLAN), o una sociedad mixta con cable/red inalámbrica. Los routers inalámbricos más actuales tienen las siguientes características [30]:

- Puertos LAN que funcionan de la misma manera que los puertos de un conmutador de red
- Un puerto WAN para conectarse a una red de área extensa, por lo general un acceso a Internet, a través de este puerto se accede a destinos externos. Si no se utiliza, muchas funciones del router será anulada.
- Una antena inalámbrica permite conexiones de otros dispositivos inalámbricos, tales como: tarjetas de red, repetidores wireless, y puntos de acceso inalámbrico (por ejemplo conexión inalámbrica a bridges); por lo general utilizando el WiFi estándar.

3. Tarjeta ALIX

La tarjeta ALIX es una placa embebida, que en sí conforman una mini computadora, que se destaca por tamaño y potencial, y es popular en el mercado de código abierto integrado, la cual puede trabajar como: un servidor de seguridad de Linux o BSD (sistema operativo basado en 4.4BSD-Lite), router wireless, contrafuegos, dispositivos de red específicos, repetidoras, dispositivo inalámbrico o cliente ligero, entre otros. Las distribuciones libres de código abierto para ejecutar en las tarjetas ALIX incluyen Voyage Linux, OpenWRT, y m0n0wall, entre muchos otros [25].

Las tarjetas de ALIX son de PC Engines para sustituir a WARP, que ofrece servidores pequeños de baja potencia para: la seguridad de la red, redes inalámbricas o aplicaciones embebidas. El sistema ALIX por PC Engines ofrece a los OEMs (Original Equipment Manufacturer) una plataforma de red rentable para la distribución de software de valor añadido, tales como: los routers inalámbricos y puntos de acceso, firewalls, balanceadores de carga, VPN, Ethernet industrial, u otros dispositivos de red de propósitos especiales. Las aplicaciones incluyen los clientes ligeros, interfaz de usuario industrial, puntos de acceso inalámbricos, redes de malla, cortafuegos, etc.

a. Modelos de las tarjetas ALIX de PC Engines

En la Tabla 3.1 se muestra los distintos modelos de las tarjetas ALIX de PC Engines, con sus respectivas características.

Tabla 3.1. Modelos de las tarjetas ALIX de PC Engines [27]

Modelo	CPU	DRAM	LAN	miniPCI	PCI	USB	Otro	BIOS	Tamaño
alix1d	LX800	256MB	1	1	1	2	VGA, audio, PS/2, LPT, GPIO	Award	miniITX
alix2d2	LX800	256MB	2	2	0	2		tinyBIOS	6x6 "
alix2d3	LX800	256MB	3	1	0	2		tinyBIOS	6x6 "
alix2d13	LX800	256MB	3	1	0	2	Añadir la batería, I ² C, encabezado COM2, USB interno	tinyBIOS	6x6 "
alix3d2	LX800	256MB	1	2	0	2			100x160mm
alix3d3	LX800	256MB	1	2	0	2	VGA, audio	Award	100x160mm
alix6f2	LX800	256MB	2	1	0	2	miniPCI express	tinyBIOS	6x6 "

La elección de la tarjeta ALIX se basa a la compatibilidad con el estándar WiFi seleccionado, en este caso el IEEE 802.11n, y cumpla las características técnicas, uso en el exterior, temperatura y humedad soportada en operación. La tarjeta ALIX3d3 de PC Engines cumple dichas características e incorpora salida VGA que será de utilidad para depurar posibles fallos.

b. Especificaciones de la tarjeta ALIX3d3

La tarjeta ALIX3d3 del sistema PC Engines es un computador pequeño de placa única de baja potencia, que difiere de los otros modelos PC Engines mediante la inclusión de vídeo y audio de hardware, que está diseñado para clientes ligeros o reproductores de audio de red. [26].

Las especificaciones técnicas de la tarjeta ALIX3d3 se indica en el “Anexo A1” [25].

El hardware de esta tarjeta tiene una arquitectura modular, por lo que le permite utilizarlo durante más de 50 diferentes aplicaciones en el campo de los dispositivos integrados, como: la gestión de ancho de banda, aplicaciones de seguridad (firewalls) y de enrutamiento. Las tarjetas también se pueden implementar para aplicaciones multimedia, así como los puntos de acceso WLAN o VPN Gateways.

4. Configuración de la tarjeta ALIX

La configuración de la tarjeta ALIX consiste en determinar:

- I. Los pasos a seguir para obtener el router
- II. Sistema operativo a utilizar
- III. Tarjeta de radio a disponer
- IV. Salidas con antenas de la tarjeta de radio

A continuación se explica cada uno de estos puntos:

I. Los pasos a seguir para obtener el router

- Primero hay que realizar la elección del sistema operativo que se ejecutará en la tarjeta ALIX, luego instalar el sistema operativo siguiendo los siguientes pasos:
 - a. Montaje de la CF en la PC con Linux
 - b. Particionar y formatear la unidad de almacenamiento con un sistema de archivos *ext2*
 - c. Crear el sistema de archivos (Voyage Linux disk), usando el archivo *voyage-0.8.0*.
- Integración del driver *ath9k* y Voyage Linux permitiendo el funcionamiento con el estándar 802.11n.
- Montaje y configuración del router
 - a. Montaje del hardware
 - b. Configuración de la primera interfaz inalámbrica
 - c. Configuración de la segunda interfaz inalámbrica
 - d. Configuración de las interfaces inalámbricas para larga distancia

II. Instalación del sistema operativo. Instalación de Voyage en una Compact Flash

Para la elección del sistema operativo que se ejecutará en la tarjeta ALIX, se debe considerar lo siguiente:

- a. Verificar las características técnicas de la tarjeta, tales como: capacidad de RAM y el procesador funcionando a una velocidad de reloj determinada.
- b. El sistema operativo debe ser muy ligero de peso, con un conjunto mínimo de paquetes.
- c. No se debe compilar nada en la tarjeta, se va a volver muy lenta, debido a que es de uso excesivo de la tarjeta CompactFlash (CF).
- d. La tarjeta ALIX debe funcionar para el estándar 802.11 determinado

Por lo tanto, el sistema operativo escogido para que trabaje la tarjeta ALIX debe ser seleccionado tomando en cuenta que va a funcionar en un estándar 802.11 determinado, en este proyecto se utilizará el estándar es 802.11n, y que sea tan pequeña para el funcionamiento de una completa función de routers y punto de acceso inalámbrico. Entonces el sistema operativo que cumple con esta condición es el Voyage Linux 0.8.0 con el driver correspondiente para este estándar. El sistema operativo Voyage Linux 0.8.0, incluye kernel 3.0.0 y se basa en Debian 6.0.3 "Squeeze", que se ejecuta en una plataforma x86 o plataforma de gama baja de PC x86, con motores de placas base: PC ALIX / WRAP, Soekris 45xx/48xx y Atom. La instalación típica requiere 128 MB de espacio en disco, aunque permite mucho más almacenamiento que el paquete a instalar.

III. Tarjeta de radio a disponer

La tarjeta de radio a ser utilizada en el presente proyecto debe ser compatible con la tarjeta ALIX3d3, que trabaje a la frecuencia de 2.4 GHz, y funcione con el estándar 802.11n. La tarjeta Mini-PCI de radio 802.11a/b/g/n DNMA-92 es un módulo diseñado específicamente para la banda dual (2.4/5GHz) y está integrada en las placa base, siendo una placa que tiene una fuerte demanda en relación calidad/precio máxima. Estableciendo nuevos estándares en relación precio/rendimiento, alcance, fiabilidad y el consumo de energía; DNMA-92 ofrece lo último en experiencia móvil de triple play para video, voz y transmisión de datos en el hogar, y para la empresa [57].

Las características y especificaciones técnicas de la tarjeta Mini-PCI de radio 802.11a/b/g/n DNMA-92, se indica en el "Anexo A2".

IV. Salidas con antenas de la tarjeta de radio

La Mini-PCI 802.11a/b/g/n es una tarjeta inalámbrica de radio de dos vías, donde cada antena se conecta con una interfaz de red inalámbrica de una tarjeta ALIX.

Atheros AR9220 está diseñado de un solo chip y soporta 2 antenas para 2 flujos simultáneos MIMO de tráfico de hasta 2 integrados T_x y R_x , asegurando una experiencia de mayor calidad para mejorar la satisfacción del usuario.

3.2. Software

El software que se va a utilizar en este proyecto consiste de tres tipos diferentes, los cuales se indican a continuación:

1. De planificación de sistemas inalámbricos

Se han desarrollado poderosas herramientas de Radio Planning, las cuales son ampliamente usadas a nivel mundial por: los ingenieros de RF, operadores de telefonía móvil y diseñadores de todo tipo de sistemas inalámbricos. Estas herramientas son de planeación de Sistemas Inalámbricos, las cuales son de tipo software que permite aterrizar de cierta manera los conceptos teóricos y llevarlos a la práctica. Entre el software de Radio Planning cabe destacar las siguientes herramientas: Sirenet v3.3, Wines 3G Platform, Planet EV, Tems Cell Planner Universal (TCPU), Opnet y Radio Mobile.

Todas estas herramientas tienen un costo elevado, a excepción de Radio Mobile que es open source y de fácil uso, y a pesar de no ser tan potente como las otras herramientas, tiene diversas opciones que permiten realizar radio enlaces y análisis de área de cobertura, entre otras.

2. Inyección de tráfico y simulación en sistemas inalámbricos

a. Inyección de tráfico en sistemas inalámbricos

Existen herramientas de evaluación de desempeño en redes inalámbricas, que permiten verificar el perfecto funcionamiento de la red inalámbrica en tiempo real. En la actualidad y para redes inalámbricas WiLD se recomienda los paquetes DITG y IPERF.

Como el software de inyección de tráfico en sistemas inalámbricos es exclusivamente para redes inalámbricas implementadas y funcionando en la realidad, en este proyecto que consiste de análisis de una red WiLD, se va a requerir únicamente de un software de simulación de redes inalámbricas.

b. Simulación en sistemas inalámbricos

Las herramientas de simulación permiten realizar simulaciones de múltiples tipos de redes (cableadas, inalámbricas y por satélite), para facilitar el aprendizaje de los principales conceptos y características fundamentales asociadas a las redes de comunicación. Uno de los simuladores de mayor difusión dentro del sector de las telecomunicaciones es la herramienta Network Simulator (NS2 o NS3).

3. Sistema Operativo para el router

La modificación de la MAC para soportar enlaces de Larga Distancia, no se realizará directamente sobre el router, sino que se prepara en un computador de escritorio, el mismo que es escrito como base de GNU/Linux Debian o Linux Ubuntu. El Sistema Operativo que se ha elegido es Voyage como más adecuado para el funcionamiento de la placa ALIX, porque la misma se la va a implementar como: routers wireless y repetidora.

3.2.1. DITG

DITG (Distributed Internet Traffic Generator - Generador Distribuido de Tráfico de Internet) es una plataforma de código abierto de inyección de tráfico y otras mediciones, para realizar evaluación de desempeño y simulación de tráfico de diversos protocolos. Es decir, analiza los datos obtenidos bajo las condiciones dadas en un ambiente controlado, conociendo qué señales son las que interfieren con la red. El análisis mínimo en un enlace de datos es la obtención de: ancho de banda, throughput, retardos y paquetes perdidos.

DITG es compatible con la generación de tráfico IPv4 e IPv6, y es capaz de generar tráfico en la red, el transporte y la capa de aplicación; definiendo el tamaño de paquetes con la posibilidad de modificar el retardo, ya sea de ida (OWD - OneWayDelay) y de ida y vuelta (RTT – Round Trip Time), y también proporciona utilidades para la evaluación de los resultados de: rendimiento alcanzado, retardo, variación del retardo, pérdida de paquetes, jitter, throughput, etc.

DITG proporciona una configuración de generación de semillas, la cual ofrece la posibilidad de repetir los diferentes experimentos con la misma semilla, también es capaz de almacenar información acerca de enviar y recibir tráfico de los remitentes y los receptores. Además, DITG permite que el emisor y el receptor delegue la operación de registro en un servidor de registro remoto, esta opción es útil cuando el receptor tiene una capacidad de almacenamiento limitada, por ejemplo, PDAs, PC de bolsillo, etc., y cuando la información del registro debe ser analizado en la marcha, por ejemplo, en caso de que el remitente se le pide que adapte la velocidad de transmisión basado sobre la congestión del canal y la capacidad del receptor.

La comunicación entre el emisor y el receptor se lleva a cabo mediante el uso de un canal de señalización separado, que implementa un protocolo para la configuración de los experimentos (Protocolo de Tráfico de Especificaciones). Además, el remitente puede ser controlado a distancia mediante el uso de *ITGapi*, esto significa que los remitentes DITG pueden ser lanzados en modo daemon y ellos esperan por los comandos (la generación de flujos de tráfico es controlado a distancia). Al utilizar esta función es posible de controlar, desde un único punto, todo el tráfico generado en una red real.

DITG es capaz de alcanzar velocidades altas de datos (receptor y emisor), más precisamente, en un entorno local (emisor y receptor en la misma plataforma Linux) la velocidad máxima de datos es igual a 511 Mbps tanto en el emisor y en el lado del receptor, en un entorno distribuido (emisor y receptor a través de dos plataformas diferentes de Linux), la máximo tasa de datos es igual a 612 Mbps en el lado emisor y 611 Mbps en el lado receptor [53].

DITG utiliza el modelo cliente-servidor, que tiene cuatro ejecutables básicos que implementan sus componentes: *ITGSend*, *ITGRecv*, *ITGLog* e *ITGDec*, donde *ITGSend* y *ITGRecv* deben ejecutarse en computadoras distintas; *ITGSend* genera los paquetes y los envía a la dirección IP donde está se ejecutando *ITGRecv*, de acuerdo a la Figura 3.1.

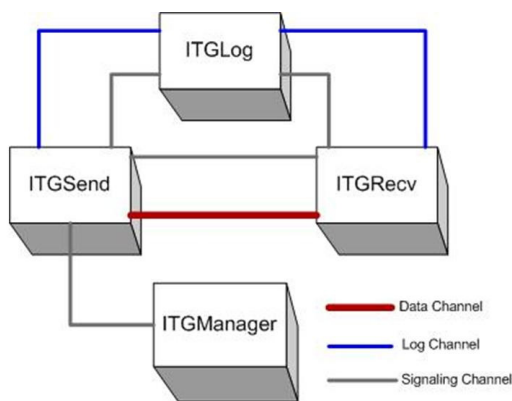


Figura 3.1. Implementación de los componentes DITG [53]

1. Parámetros para medir la calidad de servicio de la red

El DITG entrega parámetros para medir la calidad de servicio de la red o de una transmisión, estos son:

- a. **Delay.** Tiempo que tarda el paquete en pasar por un componente de la red, host, enrutador o sección de red. Es un parámetro principal y en muchas ocasiones crítico
- b. **Jitter.** Tiempo variable esperado para la llegada de cada paquete
- c. **Packetloss.** Indica la cantidad de paquetes perdidos durante la conexión, que el peor de los casos no debe ser mayor al 10%
- d. **Bitrate.** La tasa de envío de paquetes

DITG está actualmente disponible en Linux, Windows y la plataforma Linux Familiar, se presenta tanto en un multihilo y en una implementación de múltiples tareas. Los protocolos soportados son: TCP, UDP, ICMP, DNS, Telnet, VoIP (G.711, G.723, G.729, Voice Activity Detection, RTP comprimido).

2. Instalación de DITG

El proceso de instalación debe seguir unos pasos secuenciales, el cual se encuentra detallado de forma explícita en el “Anexo B2”.

3.2.2. IPERF

IPERF es una herramienta de distribución libre, capaz de medir el ancho de banda, el retardo, el Jitter e incluso la pérdida de paquetes de un enlace entre dos PCs. Sus

principales característica recaen en: la capacidad de poder enviar datos que usan tanto el protocolo TCP como el protocolo UDP.

IPERF trabaja bajo el modelo de cliente-servidor, en donde el PC cliente crea información que intenta mandar a otro PC que actúa como servidor durante un tiempo determinado, para ello el cliente necesita saber la dirección IP del servidor PC. Básicamente el cliente es el que envía la información y el servidor es el que registra los datos que obtiene cuando le llegan los paquetes y los muestra. Por lo tanto, se necesita dos máquinas que pueden ser de escritorio, servidores, o computadoras portátiles; y el software de IPERF debe ser cargado en las dos máquinas. Además, cualquier cliente que se puede conectar a Ethernet o Wireless, se ejecuta en Linux, Windows o en el sistema operativo Mac OS

La herramienta IPERF también se utiliza para realizar pruebas entre un servidor IPERF y un cliente IPERF en el mismo segmento por cable. Este tipo de pruebas pueden ayudar a identificar los malos resultados o descalificar a la red Ethernet. Las pruebas de rendimiento se utilizan para validar la red, y puede ser utilizada en los segmentos ya sea de sistemas cableados o inalámbricos. Los profesionales Wireless LAN también pueden usar las pruebas IPERF para llevar a cabo lo siguiente: estudios de campo, validar el rendimiento del cliente, y comprobar el rendimiento a través de bridges de 802.11. Una vez conseguidas las pruebas IPERF se puede empezar a solucionar problemas de rendimiento del cliente mucho más fácil, a eliminar Access Point, Switch o Ethernet, como la razón de cualquier degradación del rendimiento [54].

La herramienta estándar de IPERF escribe manualmente los comandos en una ventana de terminal, tanto en el servidor y el cliente, siendo un proceso bastante sencillo, pero una manera más fácil de usar servicios de IPERF es usando una interfaz GUI JPERF, una herramienta JPERF con una interfaz gráfica de Java que permite configurar sus diferentes parámetros, medir y graficar el rendimiento, y es muy simple, preciso y fácil de usar.

La tarjeta ALIX que se configura como router o repetidora tiene un procesador que no soporta interfaces gráficas, por lo que no se puede utilizar el software JPERF en la evaluación de este router, entonces se debe usar el software IPERF que usa líneas de

comandos . Además, para el presente proyecto solo se realiza un análisis de la red WiLD y no se tiene a disposición una tarjeta ALIX, lo que conlleva a realizar únicamente la simulación de la red con otro software.

1. Características de IPERF

Las características más relevantes de IPERF son las siguientes:

- Parecido a TTCP, con algunas mejoras y más funciones
- Excelente para determinar los parámetros óptimos de TCP. Permite modificar el tamaño de ventana TCP
- Con UDP, genera reportes de jitter y pérdida de paquetes
- Permite generar múltiples sesiones en paralelo, usando threads
- Soporta IPv6

2. Instalación de IPERF

El proceso de instalación debe seguir pasos secuenciales para tener éxito, el cual se encuentra detallado de forma explícita en el “Anexo B3”.

3.2.3. NS-2

NS (Network Simulator) es una herramienta muy potente para la simulación de eventos centrada en la investigación sobre redes, que permite realizar simulaciones de TCP, routing y multicast de múltiples tipos de redes (cableadas, inalámbricas y por satélite), y es a la vez muy flexible dada la posibilidad de trabajar con el lenguaje de script *tcl*. NS permite ir generando el modelo agregando toda la potencia de un lenguaje de programación a los propios elementos de la simulación, en cuanto define los distintos elementos de la red y cómo debe comportarse; una vez terminado el script se lo pasa al NS y este irá realizando la simulación. NS dispone de una interfaz gráfica para visualizar las simulaciones e incluso crear y editar los modelos a simular llamada *nam* (Network Animator), la cual dispone de un editor gráfico, que va a permitir no tener que usar código *tcl* para crear las animaciones. Con todo esto permite crear la topología de red y simular varios protocolos y fuentes de tráfico mediante el uso del mouse.

NS es una gran herramienta de software implementada en el lenguaje C++, que puede ayudar en muchos campos al realizar pruebas o generar nuevos tipos de redes. La simulación se escribe en lenguaje *OTcl*, que es un lenguaje orientado a objetos de tipo interprete, es decir, que las instrucciones del código se van traduciendo una a una conforme se van ejecutándose, dándole una flexibilidad durante el desarrollo del código para hacer la simulación. De esta forma los enlaces entre los nodos (links), son objetos *OTcl* que influyen y que se pueden programar situaciones tales como: retrasos, gestión de colas, módulos de pérdidas, errores, etc. Si se desea modificar alguno de estos parámetros o incluir uno propio, se emplea el C++. El resto de las funciones se implementan en estos lenguajes:

- El enrutado está casi todo implementado en *OTcl*.
- Los algoritmos de Dijkstra está implementado en C++.

NS se está utilizando tanto en entornos de investigación como en entornos educativos, como se indica a continuación:

- a. **Entornos de investigación.** Es útil ya que permite acceder a simulaciones con elementos a los que no se pueden acceder normalmente en caso de no disponer de un simulador, también permite modificar casi todos los parámetros que influyen en el estado o configuración de una red en tan solo unos segundos, mientras que recrear en la realidad este entorno podría costar días o incluso meses.
- b. **Entornos educativos.** Permite simular sencillas redes que van a ayudar a comprender los distintos protocolos y observar cómo se produce el envío de paquetes entre nodos, etc.

Entre los usos más habituales que se les puede dar a este tipo de simuladores se encuentran:

- Simular estructuras y protocolos de redes de todo tipo: satélite, wireless, cableadas, etc.
- Desarrollar nuevos protocolos y algoritmos y comprobar su funcionamiento.
- Comparar distintos protocolos en cuanto a prestaciones.

1. Tareas a realizar con NS

Con el simulador NS se puede realizar las siguientes tareas [52]:

a. Definir:

- Redes terrestres, inalámbricas y por satélite con varios algoritmos de enrutado (DV, LS, PIM-DM, PIM-SM, AODV, DSR). Y dentro de estas:
 - ✓ Distintas fuentes de tráfico: Web, ftp, telnet, cbr, etc.
 - ✓ Fallos como pérdidas probabilísticas, en la conexión, etc.
- Distintas disciplinas de encolado (drop-tail, RED, FQ, SFQ, DRR, etc) y QoS (calidad de servicio, como por ejemplo InmtServ y Diffserv).

b. Visualizar:

- Flujo del paquete, su encolado y su posible descarte.
- Comportamientos del protocolo: comienzo lento de TCP, control de congestión, retransmisión rápida y recuperación. Así como:
 - ✓ Movimiento de nodos en redes inalámbricas.
 - ✓ Notas de los sucesos más importantes.
 - ✓ Estados del protocolo.

2. Selección del Software de Simulación

El software elegido es Network Simulator 2 (NS-2) actualmente en la versión 2.34. La razón de la elección se encuentra en que es una herramienta libre, open source, muy completa y en constante desarrollo, además, este software es muy versátil y permite su utilización en muchas topologías de redes, incluyendo las redes móviles. Otro punto importante a considerar es que esta herramienta está ampliamente difundida en el ámbito académico mundial y la investigación.

3. Instalación de NS-2

El proceso de instalación es muy riguroso y se debe seguir pasos secuenciales, el cual se encuentra detallado de forma explícita en el “Anexo B4”.

3.2.4. Radio Mobile

Radio Mobile es un software de distribución libre para diseño de redes de comunicaciones o el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular, de una manera muy sencilla. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos que se quieren simular. Dicha información consiste en la potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc. [46].

Este software se utiliza para planificación y dimensionamiento de sistemas de comunicaciones inalámbricas, permite predecir el comportamiento de un radio enlace entre dos sitios dados, tomando en cuenta lo siguiente: las características de los equipos, la naturaleza del terreno, y la teoría de propagación de ondas de radio. El funcionamiento de Radio Mobile es a través de mapas topográficos de las diferentes zonas del mundo, que incluyen datos digitales de elevación del terreno. Estos mapas son incluidos en el programa generando mapas virtuales, sobre los cuales se efectúan los diferentes análisis que permiten determinar parámetros como cobertura, los posibles niveles de señal en las diferentes partes de la trayectoria, si existe o no línea de vista entre el transmisor y receptor, vistas estereoscópicas, vistas en 3D y animaciones de vuelo.

Radio Mobile implementa con buenas prestaciones el modelo Longley-Rice, modelo de predicción troposférica para transmisión de radio sobre terreno irregular en enlaces de medio y largo alcance, también tiene múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones. Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación para la que estarían destinados. Al igual que el modelo de propagación en el que se basa, permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km. RadioMobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo, estos mapas pueden obtenerse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: SRTM, GTOPO30 y DTED.

1. Modelo Longley – Rice

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

de trayecto de entre 1 y 2000 Km. Los parámetros generales y específicos que se configuran son los siguientes [51]:

a. Parámetros generales

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

- **Frecuencia.** Es el rango de frecuencias nominales, para el modelo varía entre 20MHz y 40GHz.
- **ERP (Effective Radiated Power).** Potencia efectiva de radiación, se introducen en las unidades que fije el usuario en la opción de configuración del sistema (mW, W, kW, dBm, dBW, dBk).
- **Antena.** Se asume antena omnidireccional, a menos que se especifique el uso de una antena direccional.
- **Altura de la antena.** Altura a la que se sitúa la antena, medido en pies o metros, (sobre el nivel del mar), para transmitir y recibir. El programa computa las alturas efectivas necesarias para ajustarse a los cálculos del modelo.

b. Parámetros específicos para el modelo de Longley-Rice

La naturaleza del modelo requiere algunos parámetros adicionales:

- **Polarización.** Debe especificarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical. El modelo de Longley-Rice asume que ambas antenas tienen la misma polarización, vertical y horizontal.
- **Refractividad.** La refractividad de la atmósfera determina la cantidad de bending o curvatura que sufrirán las ondas de radio.
- **Permitividad:** La permitividad relativa o constante dieléctrica del medio (ϵ), tiene unos valores típicos tabulados.
- **Conductividad.** La conductividad, medida en Siemens por metro, tiene unos valores típicos tabulados.
- **Clima.** Hay 7 modelos de clima caracterizados en el modelo: Equatorial (Congo); Continental Subtropical (Sudan); Maritime Subtropical (West

coast of Africa); Desert (Sahara); Continental Temperate; Maritime Temperate, over land (United Kingdom and continental west coasts); Maritime Temperate.

- **Variabilidad.** El modo de variabilidad puede ser considerado como la especificación para determinar la fiabilidad de los cálculos. El modelo de Longley-Rice define cuatro modos de variabilidad, que son: Single message mode, Individual mode, Mobile mode, and Broadcast mode. El modo seleccionado determina el significado de la fiabilidad de los valores usados en el modelo.

2. Instalación de Radio Mobile

El proceso de instalación debe seguir pasos secuenciales para tener éxito, el cual se encuentra detallado de forma explícita en el “Anexo B1”.

3.2.5. Voyage Linux

PCEngines fabricante de placas ALIX tiene un listado de Sistemas Operativos y firmware disponibles para estas placas, los cuales deben ser instalados por el usuario de la placa, existiendo algunos que son optimizados para sistemas embebidos. La mayoría de los Sistemas Operativos requieren su instalación por módulos, mientras que algunos sistemas brinda la posibilidad de traer incluido por defecto la utilidad o aplicación, lo que determina la elección del sistema operativo; esto permite evitar problemas de falta de archivos y módulos para correr el Sistema Operativo.

Se ha elegido a Voyage-0.8.0 como el Sistema Operativo más adecuado para el funcionamiento de la placa ALIX3d3, la cual se la va a implementar como routers wireless y repetidora, y a la vez el Sistema Operativo debe tener la capacidad de funcionar para el estándar 802.11n. Este Sistema Operativo está basado en Debian, para plataformas embebidas x86 como PCEngines ALIX/Wrap y Soekris. La instalación únicamente requiere de 128Mb de espacio en el disco, que puede manejar como: servidor de seguridad, puntos de acceso inalámbricos, puertas de enlace VoIP, dispositivos de almacenamiento en red, routers wireless y repetidoras, entre otros.

Para poder trabajar en la versión de Voyage-0.8.0 se debe instalar en el sistema operativo Linux Ubuntu en la versión 9.10 mínima y el driver “Integración del driver ath9k y Voyage Linux”.

1. Sistema Operativo Voyage-0.8.0

Voyage-0.8.0 es un proyecto que empezó en el 2008 y su objetivo es proporcionar software de servidor que pueda ser empleado en cualquier plataforma embebida x86. Voyage-0.8.0, incluye las siguientes características que son compatibles con las versiones inmediatamente anteriores [49]:

- I. VoIP.** Servicio proporcionado a través de Asterisk y Zaptel. Asterisk es una utilidad que permite configurar una central telefónica a través de software que funciona bajo Linux, mientras Zaptel son los drivers necesarios para implementar las tarjetas sobre el servidor de VoIP, cuando se desea interconectar con la red pública de telefonía.

- II. VPN y túneles.** Son redes virtuales privadas, las cuales utilizan un túnel para pasar la información de un lado a otro, la cual viaja encriptada. Así mismo las VPN autentican usuarios permitiendo obtener datos estadísticos de quien tuvo acceso, cuándo y a qué información.

- III. Meshing o redes en malla.** Es la capacidad de brindar servicio Wi-Fi de forma directa, a través de su infraestructura como los Access Points y de forma indirecta, por medio de dispositivos WiFi que pueden comunicarse entre sí para llegar al destino, sin tener una infraestructura como los Access Points de por medio.

2. Instalación VOYAGE-0.8.0

El proceso de instalación contiene pasos que deben ser seguidos secuencialmente para el éxito del formateo e instalación del sistema operativo en la tarjeta ALIX embebida, el cual se encuentra detallado de forma explícita en el “Anexo B5”.

La primera parte del formateo de la tarjeta ALIX, consta de una serie de procedimientos en línea de comandos para dar a la tarjeta un formato compatible con

Linux, sea este ext2 o ext3, posteriormente por medio de línea de comandos se describe un comando que activa la instalación, que a través de preguntas y respuestas va configurando las características del Sistema Operativo Voyage-0.8.0. Por último, se procede a la configuración de las interfaces, que permite la activación de éstas o no con distintas características. a través de modificación de archivos que ya están creados en la tarjeta Compact Flash.

3.3. Métodos

Se va a detallar la metodología de trabajo, para analizar la comunicación inalámbrica con las prestaciones de enlaces y redes IEEE 802.11 y la forma de optimizarlas para largas distancias.

3.3.1. Modificación de la MAC para soportar enlaces de Larga Distancia

La capa MAC tiene límites para soportar enlaces de Larga Distancia, porque esta capa posee varios tiempos constantes definidos que tienen diferente efecto en función de la distancia entre estaciones, pero en ningún estándar de la familia IEEE 802.11 se imponen parámetros como restricciones explícitas en función de la distancia.

Al realizar una revisión del estándar IEEE 802.11, se puede determinar tres tipos de limitaciones en la comunicación inalámbrica para Largas Distancia:

1. El temporizador de espera de los ACKs, **ACKTimeout**.
2. El temporizador de espera de los CTSs, **CTSTimeout**.
3. La definición de tiempos relacionados con el tamaño de la ranura, **SlotTime**.

A continuación se verá cada una de estas limitaciones.

1. **ACKTimeout (Acknowledgment-Timeout) [6]**

Este parámetro se define en el estándar IEEE 802.11, como el tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK una vez que ha terminado la transmisión de un paquete. Como se ve en la Figura 3.2, si el ACK correspondiente a una trama que llega

a la estación transmisora tras caducar el *ACKTimeout*, el ACK se descarta y se programa una nueva retransmisión.

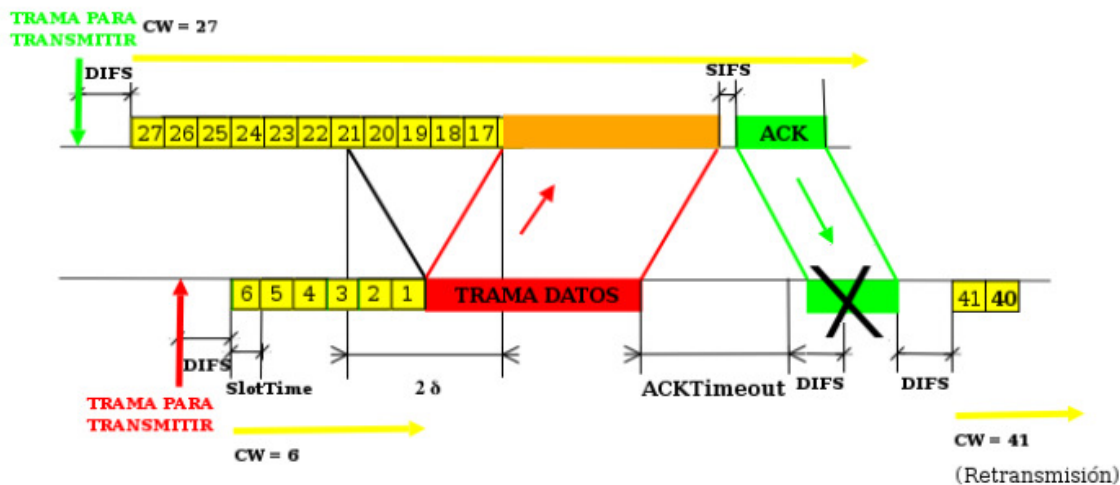


Figura 3.2. Transmisión de una trama cuando el *ACKTimeout* es insuficiente [6]

Donde *SlotTime* es el tiempo de duración de una ranura, *ACK* (Amplitudes-shift keying) es la duración de la trama MAC, *DIFS* (DCF Inter Frame Space, DCF Distributed Coordination Function), *SIFS* (Short Inter Frame Space) es el tiempo que separa la recepción del paquete de la transmisión de su ACK en el receptor, *CW* (Contention Window) es el periodo adicional de espera, y 2δ es el tiempo de propagación de ida y vuelta

En la Figura 3.2 se puede ver que tras caducar el *ACKTimeout* se ha inaugurado un periodo *DIFS* que no ha culminado, porque se ha empezado a recibir el ACK, activando el mecanismo CCA/CS (Clear Channel Assessment / Carrier Sense, detección de portadora y de canal libre); tras quedar de nuevo el canal libre, se vuelve a esperar un tiempo *DIFS* y se empieza de nuevo la cuenta atrás para una retransmisión.

Para efectos prácticos y que funcione el mecanismo de confirmación de tramas de datos unicast, el *ACKTimeout* debe contener:

- El tiempo de propagación de ida y vuelta (2δ), que depende de la distancia entre estaciones.

- El tiempo *SIFS* que separa la recepción del paquete de la transmisión de su ACK en el receptor, que tiene un valor de 10µs para 802.11b/g/n y de 16µs para 802.11a.
- El tiempo de recepción del preámbulo y cabecera de nivel físico del ACK, que varía según la capa PHY. En la capa PHY DSSS existen dos posibilidades: preámbulo y cabecera largos, totalizando una duración de 192µs, y preámbulo y cabecera cortos, totalizando una duración de 96µs. Las cabeceras cortas son opcionales en 802.11b (y raramente implementadas) y obligatorias en 802.11g. En OFDM esa duración es de tan sólo 20µs. El preámbulo 802.11n es compatible con el empleado por 802.11a/g, no reciben el resto de la trama pero detienen su transmisión, después se añade un segundo preámbulo necesario para MIMO (formato mixto).

Por lo tanto, a nivel de capa MAC, la definición de tiempos para el funcionamiento del mecanismo de acceso al medio impone restricciones al alcance máximo de la conexión. La modificación del *ACKTimeout* cuyo valor determina el tiempo que el transmisor espera por la llegada de una trama ACK; confirmando la transmisión de una trama de datos, caso contrario el transmisor vuelve a transmitir la trama.

El estándar 802.11 no dice cuánto vale *ACKTimeout* ni cómo se calcula, pero en la publicación del estándar 802.11-2007 Sección 9.2.8 *ACK procedure*, se establece que el valor de *ACKTimeout* se obtiene con la Ecuación 3.1.

$$ACKTimeout = SIFS + SlotTime + aPHY-RX-START-Delay \quad (3.1)$$

Donde *aPHY-RX-START-Delay* tiene valores específicos para cada técnica de modulación definida en la capa PHY; 128 µs para FHSS, 192 µs para DSSS y HR, 25 µs para OFDM y 24 µs para ERP-OFDM.

En el trabajo desarrollado por Francisco Javier Simó Reigadasse [6] realiza una definición formal del valor para *ACKTimeout*, en relación a aumentar el alcance máximo de conexiones inalámbricas en WiFi, de acuerdo a la Ecuación 3.2.

$$ACKTimeout = SIFS + SlotTime + ACK + PLCP Preamble + PLCP Header \quad (3.2)$$

Donde *ACK* es la duración de la trama MAC; *PLCP Preamble* y *PLCP Header* son los tiempos de recepción del preámbulo y cabecera PLCP, respectivamente, cuya suma es equivalente a *aPHY-RX-START-Delay*; y los valores para SIFS y SlotTime (duración de una ranura). En la Tabla 3.2 se resume algunas de las principales características de la capa MAC para el estándar 802.11 2007.

Tabla 3.2. Parámetros de MAC relevantes para estándares a, b y g [22]

Parámetros	802.11	802.11b	802.11a	802.11g
SlotTime (μ s)	20 50	20	9	20 o 9
SIFS (μ s)	10 28	10	16	10
PIFS (μ s)	30 78	30	25	30 o 19
DIFS (μ s)	50 106	50	34	50 o 28
Ventana de contienda (slots)	31-1023 15-1023	31-1023	15-1023	15-1023 31-1023
Duración de preámbulo (μ s)	144 96	144	16	20
Duración de cabecera PLCP (μ s)	48 32	48	4	4
Long. max. trama MAC (bytes)	4-8191 4095	4095	4095	4095

Además, se debe considerar que, *ACK* responde a la lógica de que la estación transmisora no pueda colisionar con el *ACK* que podría estar transmitiendo, aunque no lo esté recibiendo por razones asociadas a la propagación, y *SlotTime* representa una cota superior al tiempo de propagación en distancias cortas. La suma de estos dos tiempos es lo que va a determinar el alcance máximo que se puede lograr en la conexión inalámbrica, respetando la definición formal del estándar 802.11 y que depende de la velocidad, como se puede ver en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Distancias alcanzables con ACKTimeout estándar en 802.11 [6]

Velocidad [Mbps]	SlotTime [μ s]	ACK [bits]	Alcance [μ s]	Alcance [Km]
1	20	112	66.0	19.8
2	20	112	38.0	11.4
5.5	20	112	20.2	6.1
6	9	112	13.8	4.2
9	9	112	10.7	3.2
11	20	112	15.1	4.5
12	9	112	9.2	2.8
18	9	112	7.6	2.3
24	9	112	6.8	2.1
36	9	112	6.1	1.8
48	9	112	5.7	1.7
54	9	112	5.5	1.7

De acuerdo a la Tabla 3.3 se puede determinar que los enlaces de larga distancia se pueden realizar solo para velocidades más bajas. Pero, sí es posible ajustar el parámetro *ACKTimeout*, se podría obtener los enlaces de larga distancia según la Ecuación 3.3.

$$ACKTimeout = SIFS + 2\delta + SlotTime + PLCP\text{Preamble} + PLCP\text{Header} \quad (3.3)$$

Donde 2δ es el tiempo de propagación de ida y vuelta, que es igual a distancia entre estaciones sobre la velocidad de la luz ($d[m] / c[m/seg]$).

La limitación de alcance por *ACKTimeout* no supone que el enlace funciona a partir de cierto valor pero no funciona por debajo, lo que no funciona es el MAC, pero de todas formas se produce la comunicación a una tasa de transferencia muy baja. Por lo que cuando ningún ACK llega, todo paquete se retransmite el número máximo de retransmisiones, definido en el estándar como valor por defecto, con lo que se expresa implícitamente que se puede permitir su modificación sin violar el estándar. En realidad hay dos parámetros asociados al número de retransmisiones, el límite de retransmisión largo de uso común y el límite de retransmisión corto se emplea cuando se activa el modo RTS/CTS para los paquetes que superan el umbral *RTSThreshold* [6]

En definitiva, el *ACKTimeout* es muy pequeño para trabajar correctamente sobre enlaces de larga distancia, por lo que se debe usar equipos que permitan un ajuste manual del *ACKTimeout*, configurándolos a valores más altos, los reintentos de reenvío se reducen y la conectividad se mejora.

Con la Ecuación 3.3 y considerando la Tabla 3.1 en que los parámetros de MAC para el estándar 802.11g es similar el estándar 802.11n: SIFS = 10 μ s, $\delta = d / 3 \cdot 10^8$ m/s, SlotTime = 20 μ s, PLCP Preamble = 20 μ s, PLCP Header = 4 μ s, se calcula los valores *ACKTimeout* en función a la distancia (d), los cuales se indican en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Valores ACKTimeout en función a la distancia

d [Km]	ACKTimeout [μ seg]
10	121
20	187
30	254
40	321
50	387
60	454
70	521
80	587
90	654
100	721

En la Figura 3.3 se pueden ver los valores *ACKTimeout* en función a la distancia, tienen una relación lineal.

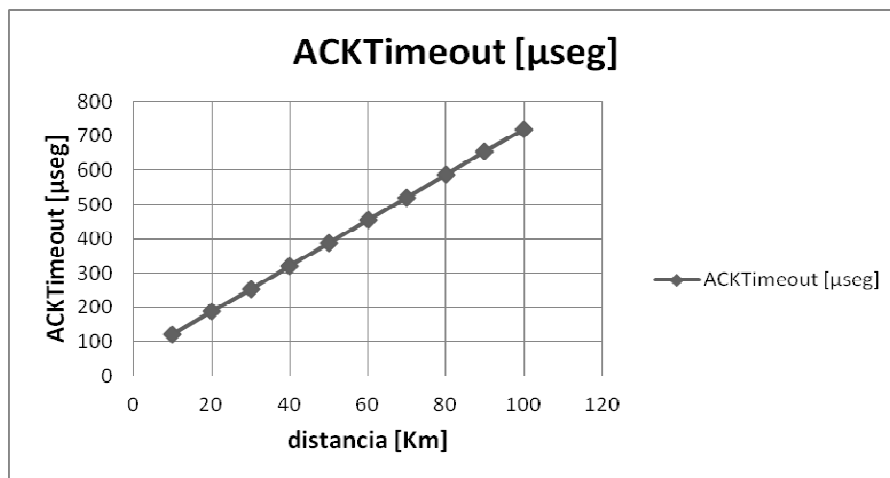


Figura 3.3. ACKTimeout en función a la distancia

En la Figura 3.4 se tiene la transmisión de una trama y confirmación, cuando el tiempo de propagación es no despreciable pero inferior a la duración de una ranura. Con la modificación del *ACKTimeout* se puede determinar que los enlaces de larga distancia se pueden realizar.

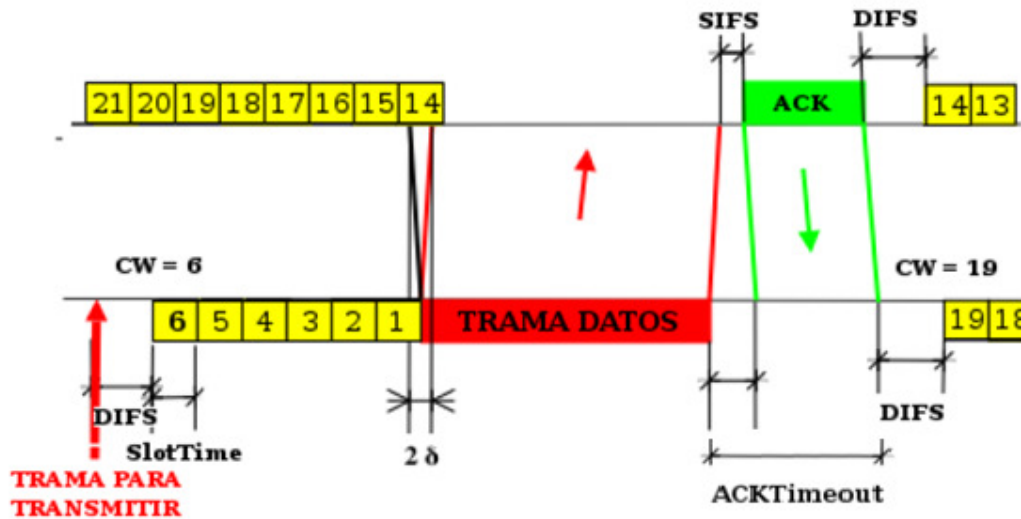


Figura 3.4 Transmisión de una trama cuando el *ACKTimeout* es adecuado [6]

2. *CTSTimeout*

Es de especial interés el parámetro de retardo de propagación máximo, porque depende de este valor la modificación de los *Timeout* para CTS [6], de acuerdo a la Ecuación 3.4 [22].

$$CTSTimeout = ACKTimeout \quad (3.4)$$

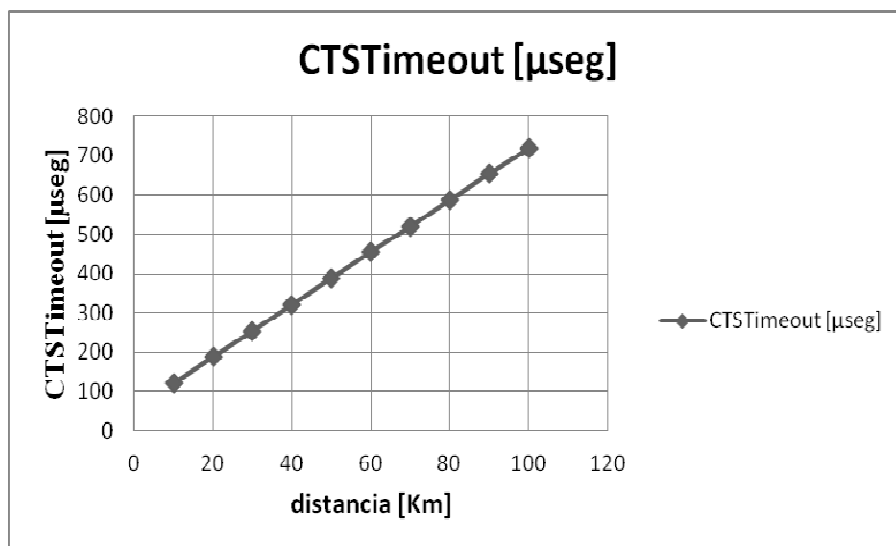
Además, se debe tener en cuenta que el efecto del retardo de propagación debe ser considerado solo una vez, es decir, si se trabaja con el *SlotTime* modificado no es necesario sumar el retardo por distancias.

Con las Ecuaciones 3.3 y 3.4, considerando la Tabla 3.1 en que los parámetros de MAC para el estándar 802.11g es similar el estándar 802.11n: $SIFS = 10 \mu s$, $\delta = d / 3 \cdot 10^8$ m/s, $SlotTime = 20 \mu s$, $PLCP\text{Preamble} = 20 \mu s$, $PLCP\text{Header} = 4 \mu s$, se calcula los valores *CTSTimeout* en función a la distancia (d), los cuales se indican en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Valores CTSTimeout en función a la distancia

d [Km]	CTSTimeout [μ seg]
10	121
20	187
30	254
40	321
50	387
60	454
70	521
80	587
90	654
100	721

En la Figura 3.5 se pueden ver los valores CTSTimeout en función a la distancia, tienen una relación lineal.

**Figura 3.5. CTSTimeout en función a la distancia**

3. SlotTime

Además de los Timeouts ACK y CTS, las colisiones en el medio de comunicación provocarán que el transmisor espere una cierta cantidad de tiempo antes de poder retransmitir; esto se conoce como el *SlotTime* o tiempo de ranura. El transmisor es informado de la colisión a través de otro dispositivo de la red, y el tiempo necesario para hacer aquello es tomado en consideración por el *SlotTime*. En aplicaciones de largas

distancias, el *SlotTime* tiene que incrementarse para prevenir posteriores colisiones debido a los Timeouts [50].

Las conexiones inalámbricas para largas distancias con WiFi, también exigen la ampliación del tiempo de ranura que determina los periodos de espera en cada transmisión, este parámetro es directamente proporcional al retardo de propagación, porque debe asegurar tiempo suficiente para considerar el retardo de ida y vuelta a cada una de las distancias de prueba. En el trabajo realizado en [6] se demuestra con suficiente evidencia, que los valores de SlotTime para enlaces punto a punto bidireccionales, deben estar contenidos entre 1-2 veces el tiempo de propagación.

Por lo tanto, el parámetro tiempo de ranura depende de la velocidad de propagación, siendo el mejor valor 2 veces el tiempo de propagación, para garantizar que el ACK retorne al transmisor, como se indica en la Ecuación 3.5 [6].

$$\text{SlotTime} = 2\delta \quad (3.5)$$

Con la Ecuación 3.5 y considerando $\delta = d / 299792458$ m/seg, se calcula los valores SlotTime en función a la distancia (d), los cuales se indican en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Valores SlotTime en función a la distancia

d [Km]	SlotTime [μseg]
10	67
20	133
30	200
40	267
50	334
60	400
70	467
80	534
90	600
100	667

En la Figura 3.6 se pueden ver los valores SlotTime en función a la distancia, tienen una relación lineal.

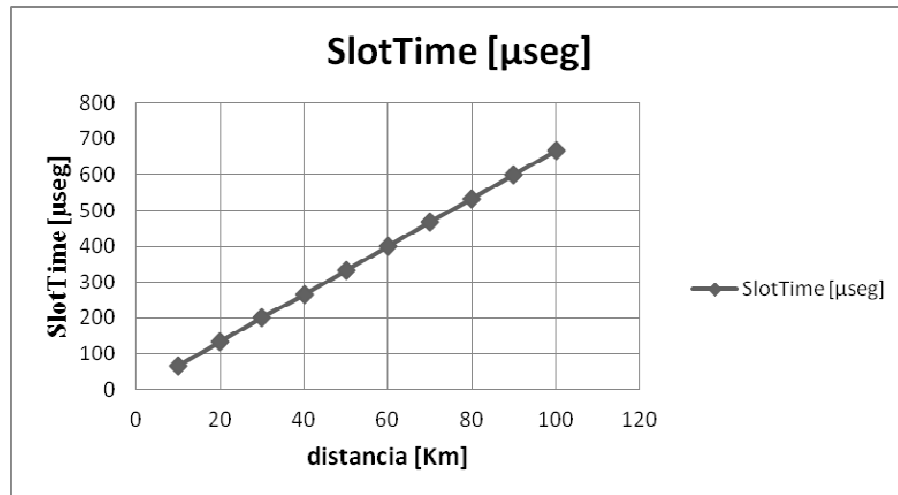


Figura 3.6. SlotTime en función a la distancia

Capítulo 4

Estudio técnico para la reestructuración de la red inalámbrica de la ESPE

4.1. Antenas para redes inalámbricas Wi-Fi

Una antena es un elemento irradiante, que emite la señal que le inyecta la etapa final de cualquier aparato de radio, de ella depende que la señal llegue hasta donde se tiene previsto con el mayor nivel y calidad que sea posible. Las antenas de redes inalámbricas se pueden dividir en tres tipos [40]:

a. Antena direccional (o directiva). Esta antena orienta la señal en una dirección determinada con un haz estrecho, de largo alcance y de forma intensa, y es capaz de enfocar toda la señal que le aplica la tarjeta o punto de acceso, a una dirección concreta, con mayor o menor grado de directividad en función del modelo y características. Normalmente esta antena se usa para establecer enlaces punto a punto o para enlazar con un nodo que tenga una antena Omnidireccional. Dentro de la gama de antenas direccionales, existen también varios modelos y formas, cada una con un uso concreto, las cuales son:

- Antena direccional de rejilla o parabólica
- Antena direccional tipo patch panel

b. Antena omnidireccional. Esta antena es capaz de emitir la señal en todas las direcciones con un haz amplio pero de corto alcance. Esta antena envía la información teóricamente a los 360 grados, por lo que es posible establecer

comunicación independientemente del punto en el que se esté. El alcance de una antena omnidireccional viene determinado por una combinación de los dBi de ganancia de la antena, la potencia de emisión del punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción del punto de acceso receptor. Entonces, los mismos dBi de una antena sectorial o direccional dará mejor cobertura que una omnidireccional, y el alcance de esta antena es menor que el de la antena direccional [37].

- c. **Antena sectorial.** Esta antena posee un gran nivel de penetración sobre obstáculos en relación potencia/alcance, y es la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Esta antena emite un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional. El alcance de la antena sectorial es mayor que la omnidireccional pero algo menor que la direccional, para tener una cobertura de 360° como una antena omnidireccional y un largo alcance como una antena direccional, se debe instalar tres antenas sectoriales de 120° ó cuatro antenas sectoriales de 80°. Las antenas sectoriales suelen ser más costosas que las antenas direccionales u omnidireccionales [37].

En este caso se va a definir las antenas para la red WiLD ESPE, en 2.4Ghz que es la frecuencia empleada para el estándar 802.11b/g/n. En la interconexión de la red inalámbrica de larga distancia ESPE, se va a utilizar las siguientes antenas: direccionales para larga distancia y omnidireccionales de corta distancia, de acuerdo al uso que se presenta a continuación:

1. **Las antenas direccionales.** Se utilizarán de repetidoras como puente inalámbrico, y se ubican en los siguientes puntos: el volcán Atacazo con 4 antenas, las cuales se conectan con cuatro antenas ubicadas en cada una de las Sedes de la ESPE: Sangolquí, IASA II (Santo Domingo), Latacunga y IASA I, respectivamente. Pero en la conexión entre el Atacazo y la Sede ESPE IASA II se necesita una repetidora (2 antenas) en el cerro Bambolí, y en la conexión entre el Atacazo y la Sede ESPE Latacunga necesita una repetidora (2 antenas) en el cerro Guango. De acuerdo a las características de la tarjeta radio móvil y la distancia a ser transmitida la señal, se escoge la antena direccional para larga distancia HyperGain HG2424G.

- 2. Las omnidireccionales.** Se utilizarán de estación base generadora, en cada una de las Sedes de la ESPE: Sangolquí, Latacunga, IASA I y IASA II; de acuerdo al área a cubrir la antena omnidireccional de corta distancia HyperGain HG2408U.

Las antenas direccionales para larga distancia HyperGain HG2424G, y la antena omnidireccionales de corta distancia HyperGain HG2408U, son detalladas a continuación:

1. Antenas direccionales para larga distancia HyperGain HG2424G

La antena direccional de parrilla de 24 dBi 2.4 GHz Alta Performance Wireless LAN, es una antena semiparabólica con reflector de rejilla de alto desempeño, que provee 24 dBi de ganancia con un lóbulo de irradiación de 8 grados para aplicaciones direccionales de larga distancia, y puede ser instalada en polarización horizontal o vertical.

Esta antena tiene reflector de rejilla de aluminio fundido inoxidable para excelente fortaleza y ligera en peso. Las dos piezas del reflector de rejilla de la antena la hacen simple para ensamblar. La superficie de la rejilla tiene una capa de polvo ultravioleta (UV) para durabilidad y estética. El diseño de aberturas en el cuerpo de la rejilla minimiza la carga al viento. Las ventajas de esta antena son las siguientes [34]:

- Performance superior 24 dBi.
- Opera en todo tipo de clima.
- Amplitud de onda 8°.
- Ideal para aplicaciones punto a punto o multipunto de largo alcance.
- Fácil de armar.
- Compatible con todas las marcas de APs 802.11b/g/n.

Las aplicaciones de esta antena se indican a continuación [34]:

- Retransmite internet sin línea telefónica (en costa, sierra y selva).
- Comparte su señal de internet, para reducir costos (cabins, oficinas).
- Interconecta sucursales y oficinas de empresas públicas y privadas (Wireless LAN).
- Telefonía por IP (VOIP).
- Vigilancia y monitoreo remoto, cámaras IP.
- Proveer servicios de internet inalámbrico (ISP inalámbrico).
- Sistemas WiFi.

Las especificaciones técnicas de la antena HyperGain HG2424G se indican en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Especificaciones técnicas de la antena HyperGain HG2424G

Característica	Valor
Frecuencia	2400-2500 MHz
Ganancia	24 dBi
Ancho de onda Horizontal -3dBi	8 grados
Ancho de onda Vertical	12 grados
Respuesta polarización cruzada	26 dBi
Front to Back Ratio	24 dB
Sidelobe	-20dB Max
Impedancia	50 Ohm
Max. ingreso de energía	50 Watts

2. Antenas omnidireccionales de corta distancia HyperGain HG2408U

La antena omnidireccional de 8 dBi Wireless LAN High Performance HG2408U, es una antena de alta performance para estaciones base WiFi diseñado y optimizado para la frecuencia 2.4 GHz. Esta antena liviana esta especialmente diseñada para los sistemas IEEE 802.11b/g/n wireless LANs, Bluetooth y otras aplicaciones multipunto, donde una larga y ancha cobertura es necesaria. Las aplicaciones de esta antena se indican a continuación [47]:

- Retransmite internet sin línea telefónica en costa, sierra y selva.
- Comparte su señal de internet, para reducir costos (empresas, cabinas, oficinas).
- Interconecta sucursales y oficinas de empresas públicas y privadas (Wireless LAN).
- Proveer servicios de internet inalámbrico (Conecta varios usuarios con una sola antena).
- Sistemas WiFi.
- Bluetooth.
- Banda 2.4 GHz ISM
- Banda 2.36 GHz CDMA
- LAN inalámbrico IEEE 802.11b/g/n
- Redes Inalámbricas Públicas de Hotspot
- Aplicaciones de Multipunto y Móviles

Las especificaciones técnicas se indican en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Especificaciones técnicas de la antena HyperGain HG2408U

Característica	Valor
Frecuencia	2400-2500 MHz
Ganancia	8 dBi
Ancho de onda Horizontal	360°
Ancho de onda Vertical	18°
Impedancia	50 Ohm
Polarización	Horizontal
Max. ingreso de energía	100 Watts
Peso	0.68 Kg
Longitud	406.4mm

4.1.1. Ganancia

La ganancia de la antena se expresa en referencia a una antena estándar, las dos referencias más comunes son [39] [43]:

1. La antena isotrópica
2. La antena dipolo resonante de media longitud de onda.

En definitiva, la ganancia se define como la ganancia de potencia en la dirección de máxima radiación. La ganancia se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación, como se indica en la Ecuación 4.1.

$$G = 10 \log[4\pi * U(\max) / P(\text{in})] \quad (4.1)$$

Donde: $U(\max)$ es la intensidad de radiación de una antena en la dirección del máximo y $P(\text{in})$ es la potencia entregada a la antena. La unidad de ganancia (G) de una antena es el dBd o dBi, dependiendo si esta se define respecto a un dipolo de media onda o a la isotrópica.

En Tabla 4.3 se indica la ganancia de las antenas para WiLD ESPE, en base las especificaciones técnicas de las antenas a utilizarse.

Tabla 4.3. Ganancia de las antenas para WiLD ESPE

Antena	Tipo de antena	Ganancia (dBi)
HyperGain HG2424G	Direccional	24
HyperGain HG2408U	Omnidireccional	8

4.1.2. Directividad

Directividad es un parámetro fundamental de la antena, que se trata de una medida patrón de dirección de la radiación de una antena. Es decir, la directividad es la habilidad de una antena de transmitir o recibir la energía enfocando en una dirección particular. Una antena que irradia igualmente en todas direcciones habría efectivamente cero direccionalidad, y la direccionalidad de este tipo de la antena sería 0 dB [42].

Si un enlace inalámbrico utiliza locaciones fijas para ambos extremos, como en esta aplicación, es posible utilizar la directividad de la antena para concentrar la transmisión de la radiación en la dirección deseada [39]. -

La directividad (D) de una antena se define como la relación entre la intensidad de radiación de una antena en la dirección del máximo, $U(max)$, y la intensidad de radiación de una antena isotrópica que radia con la misma potencia total, $U(iso)$. La directividad no tiene unidades como en la Ecuación 4.2, y se suele expresar en unidades logarítmicas (dBi) como en la Ecuación 4.3.

$$D = U(max) / U(iso) \quad (4.2)$$

$$D = 10 * \log(U(max) / U(iso))dBi \quad (4.3)$$

La directividad de una antena también se define en función del ancho de onda horizontal y ancho de onda vertical, de acuerdo a la Ecuación 4.4 sin unidades y a la Ecuación 4.5 en dBi.

$$D = 4\pi / (\theta_{v1/2} \theta_{h1/2}) \quad (4.4)$$

$$D_{dBi} = 10 \log D \quad (4.5)$$

Donde $\theta_{v1/2}$ y $\theta_{h1/2}$ son los ángulos en radianes del ancho de onda horizontal y ancho de onda vertical, respectivamente.

En la Tabla 4.4 se indica la directividad para las antenas del presente proyecto, en base a las especificaciones técnicas de las antenas a utilizarse y a las Ecuaciones 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4. Directividad de las antenas para WiLD ESPE

Antena	Tipo de antena	Directividad (dBi)
HyperGain HG2424G	Direccional	24,57
HyperGain HG2408U	Omnidireccional	8,04

4.1.3. Ancho de haz

El ancho del haz es el ángulo subtendido por la radiación emitida entre los puntos en que la potencia disminuye a la mitad (3 dB) respecto a la radiación máxima, como se indica en la Figura 4.1.

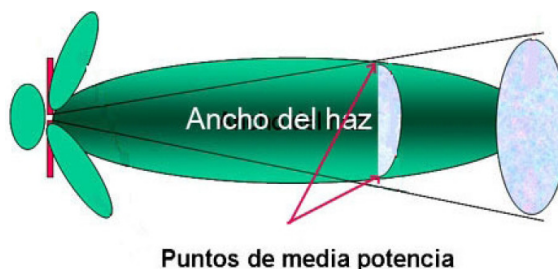


Figura 4.1. Puntos de media potencia en un diagrama de radiación

Usando el diagrama de radiación de la Figura 4.1, se puede determinar la cobertura espacial donde la antena ofrece buena cobertura. El ángulo entre los puntos de media potencia es conocido como ancho del haz y se define tanto para el plano horizontal como para el plano vertical. Sólo en el caso de una antena con simetría circular perfecta ambos ángulos son iguales [43]. Suponiendo que la mayor parte de la potencia radiada no se dispersa en lóbulos laterales, entonces la ganancia directiva es inversamente proporcional al ancho del haz; cuando el ancho del haz decrece la ganancia directiva se incrementa.

En la Tabla 4.5 se indica el ancho de los lóbulos horizontal y vertical para cada antena de la red WiLD ESPE, y en las Figuras 4.2 y 4.3 se indican los patrones polares de radiación de las antenas utilizadas en el presente proyecto: HyperGain HG2424G y HyperGain HG2408U.

Tabla 4.5. Ancho de haz de las antenas para WiLD ESPE

Antena	Tipo de antena	Ancho de haz	
HyperGain HG2424G	Direccional	Horizontal	8°
		Vertical	12°
HyperGain HG2408U	Omnidireccional	Horizontal	360°
		Vertical	18°

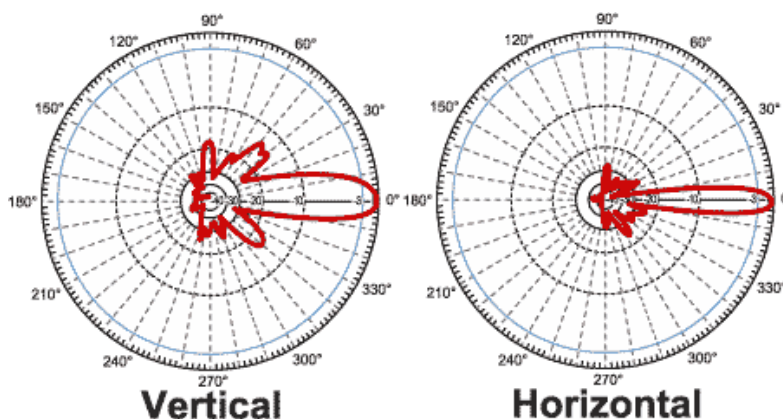


Figura 4.2. Patrón polar de radiación de la antena HyperGain HG2424G

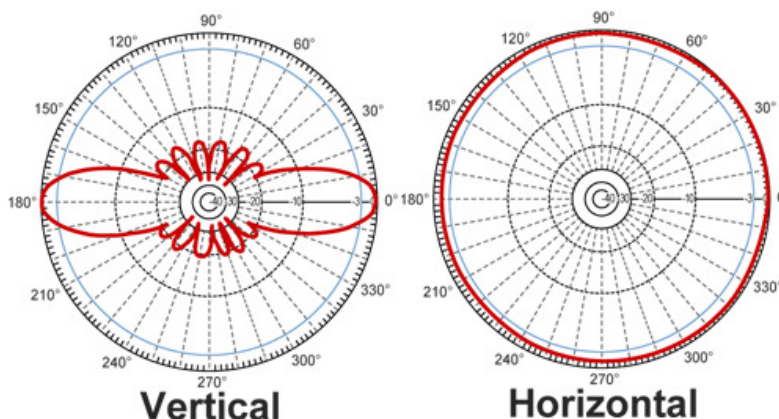


Figura 4.3. Patrón polar de radiación de la antena HyperGain HG2408U

4.1.4. Eficiencia

La eficiencia de una antena se refiere a la potencia suministrada a la antena y la potencia radiada o disipada dentro de la antena. Las pérdidas asociadas dentro de una antena son normalmente las pérdidas de conducción debido a la conductividad finita de la antena, y las pérdidas dieléctricas debido a la conducción dentro un dieléctrico que puede estar presente dentro de una antena. Una antena puede tener alta o baja eficiencia, como se indica a continuación [42]:

- **Una antena de alta eficiencia.** La mayor parte de la energía presenta en la entrada de la antena que irradia.
- **Una antena de baja eficiencia.** La mayoría de la potencia absorbida tiene en pérdidas dentro de la antena.

La eficiencia (η) puede ser escrita como la relación de la potencia radiada $P(r)$ a la potencia de entrada de la antena $P(in)$, o también se puede definir como la relación entre ganancia (G) y directividad (D), porque la ganancia de una antena es el producto de la directividad determinada exclusivamente por factores geométricos, y la eficiencia de la antena; depende del material de la que está construida y de las imperfecciones de manufactura. La eficiencia es a dimensional y expresada en porcentaje como se indica en la Ecuación 4.6, pero si G y D está expresado en dBi, se obtiene la eficiencia con la Ecuación 4.7.

$$\eta = P(r) / P(in) = G / D \quad (4.6)$$

$$\eta = \log^{-1} (G/10) / \log^{-1} (D/10) \quad (4.7)$$

En base a la Ecuación 4.7 y a las Tablas 4.3 y 4.4, se indica en la Tabla 4.6 la eficiencia de las antenas para WiLD ESPE.

Tabla 4.6. Eficiencia de las antenas para WiLD ESPE

Antena	Tipo de antena	Eficiencia (%)
HyperGain HG2424G	Direccional	86,77
HyperGain HG2408U	Omnidireccional	98,77

4.2. Tarjetas que soportan modificación de MAC para incrementar distancias entre transmisión y recepción

4.2.1. Tarjetas que soportan modificación de MAC

Las tarjetas que soportan modificación MAC deben trabajar con el estándar IEEE 802.11n, para trabajar de enrutadores y repetidoras incrementando las distancias entre transmisión y recepción. Investigando en el mercado a la presente fecha, las siguientes tarjetas cumplen con estas condiciones: Fox board de ACME Systems y ALIX de PC Engines.

En la Tabla 4.7 se indican las características de las tarjetas “Fox board de ACME Systems” y “ALIX de PC Engines”, las cuales soportan modificación de MAC para incrementar distancias entre transmisión y recepción.

Tabla 4.7. Características de las tarjetas Fox board de ACME Systems y ALIX de PC Engines [27][56]

	Fox board de ACME Systems	ALIX de PC Engines
Características del software		
Driver	USB Pen driver, FTDI y PROLIFIC USB para convertidor en serie	Linux, BSD: debe ser incluido en las distribuciones recientes. Windows XP de audio / vídeo / crypto conductores Windows XP a través del controlador de red VT6105M
SDK	Totalmente Open Source y Software Development Kit de descarga gratuita	Totalmente Open Source y Software Development Kit de descarga gratuita
Sistema Operativo	Debian Linux en microSD y el gestor de arranque	Sistema operativo y software de aplicación para ser suministrado por el cliente. El sistema operativo y las aplicaciones son almacenados en la tarjeta CompactFlash (no incluido).
Características del Hardware		
Tamaño	66 x 72 mm (2.6 x 2.8 inches)	Board size: 100 x 160 mm
CPU	100MIPS Axis ETRAX 100LX, 32 bit, RISC, 100MHz	433 (LX700) o 500 MHz (LX800) CPU AMD Geode LX - cache = 64 KB de instrucciones de 64 KB + 128 KB L2 + datos - integrated crypto accelerator
Memoria	8MB FLASH 32MB RAM	128 o 256 MB DDR SDRAM (333 o 400 MHz de reloj)
Potencia	Única fuente de alimentación, 5 Volt 280mA (1 watt)	Navegar por la web con alimentación 5 W de 12V DC a través de ALIX.1C como un cliente ligero!
Puertos	1 Ethernet (10/100 Mb/s), 2 USB 1.1, 1 puerto de consola serie	1 a 3 canales de Ethernet (Vía VT6105M), 2 o 1 ranuras miniPCI (tarjetas no incluidas), 1 puerto serie (consola).
Extensión	2 sockets de extensión con IDE, SCSI, líneas serial, puertos paralelos, líneas I/O, interface de bus I2C	Bus LPC para agregar puertos seriales, estilo de I / O ISA, GPIO, etc. Bus I2C para la interfaz de usuario, el software de los dispositivos de bloqueo, etc.
Rango de temperatura	0-70 °C	0 a 50 °C
Aplicaciones		
Aplicaciones	Reproductor de música a distancia, Clientes de desarrollo, interfaz de usuario industrial	Clientes de desarrollo, interfaz de usuario industrial, enrutadores inalámbricos, firewalls, dispositivos especiales de red de uso, video conferencia, etc.

Las tarjetas Fox board de ACME Systems tienen mayor prestaciones en aplicaciones industriales, en cambio las tarjetas ALIX de PC Engines son utilizadas más para desarrollo como enrutadores inalámbricos; que es justamente para lo que se necesita en este proyecto. Además, los beneficios de su bajo costo, bajas dimensiones, y la posibilidad de portar el sistema operativo *Linux*; hacen que la tarjeta ALIX se pueda montar para la aplicación de router, por lo que se elige esta tarjeta para la aplicación del presente proyecto.

4.2.2. Componentes de radio para la tarjeta ALIX

Las tarjetas de radio que soportan modificación de MAC para incrementar distancias entre transmisión y recepción, deben también soportar las características de las tarjetas ALIX, y deben trabajar con el estándar IEEE 802.11n. Con estas condiciones las únicas tarjetas de radio existentes en el mercado a la presente fecha, son las siguientes:

1. Tarjeta Mini-PCI de radio 802.11n a/b/g DNMA-92
2. Tarjeta WLM200NX MINIPCI 2 x 2 802.11N 2.4/5GHz Dual-band MIMO miniPCI

En la Tabla 4.8 se indica las características fundamentales de las tarjetas de radio antes indicadas.

Tabla 4.8. Características de las tarjetas de radio

Tarjetas de radio	Chipset	Compatible con Estándar	Frecuencia de trabajo	Potencia Máxima de salida	Tasa de datos física
DNMA-92	Atheros AR9220	IEEE 802.11n	2.4/5GHz	20dBm	300Mbps
WLM200NX	Atheros XSPAN	IEEE 802.11n	2.4/5GHz	20dBm	300 Mbps

De acuerdo a la Tabla 4.8 las características de las dos tarjetas de radio son idénticas, por lo tanto se puede elegir cualquier tarjeta, para el presente proyecto se selecciona la tarjeta Mini-PCI de radio 802.11n a/b/g DNMA-92, por ser más económica. A continuación se indican las características de esta tarjeta:

1. Tarjeta Mini-PCI de radio 802.11n a/b/g DNMA-92

El DNMA-92 es una solución de mini-PCI de la tarjeta LAN inalámbrica IEEE 802.11n a/b/g. Con modo 802.11b, proporciona velocidades de datos de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps, soporta la especificación IEEE 802.11b para la red Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) de señalización. Con modo 802.11g, se implementa un half-duplex, con la tecnología multiplexada por división ortogonal de frecuencia (OFDM) de apoyo a todos los tipos de datos IEEE 802.11g (6 a 54 Mbps). El modo 802.11n también se proporciona para apoyar la tecnología OFDM [32].

Esta tarjeta es una buena solución para usuarios que necesitan mini-PCI 802.11n a/b/g de funcionalidad WLAN [32], a continuación se describe las características y el procesador que usa:

a. Especificaciones técnicas de la tarjeta Tarjeta Mini-PCI de radio 802.11n a/b/g DNMA-92

Las especificaciones técnicas de la tarjeta Tarjeta Mini-PCI de radio 802.11n a/b/g DNMA-92, se indica en el “Anexo A2”.

b. MAC / Procesador Baseband / Radio Transceiver

El AR9220 de Atheros es una solución altamente integrada de chip único de 2,4 y 5 GHz 802.11n de redes de área local inalámbrica, que permite un alto rendimiento de configuración MIMO 2x2, para aplicaciones de estación de radio; exigiendo la calidad del vínculo compacto y el máximo rendimiento y alcance. El AR9220 integra un multi-protocolo MAC, banda del procesador, convertidores de la interfaz de analógico a digital y digital a analógico (ADC/DAC), radio transceiver MIMO 2x2, y la interfaz PCI en un dispositivo todo-CMOS de bajo consumo [32].

El AR9220 implementa half-duplex OFDM, CCK, y procesamiento banda base DSSS, que soporta hasta 130 Mbps para 20 MHz y 300 Mbps para las operaciones de canal 40 MHz, respectivamente, y tasas de datos IEEE 802.11n a/b/g. Las características adicionales incluyen la detección de la señal, control automático de ganancia, la estimación de la frecuencia de desplazamiento, temporización de símbolos y la estimación de canal. El MAC AR9220 soporta el protocolo inalámbrico

MAC 802.11, el protocolo MAC 802.11, 802.11i de seguridad, recepción y transmisión de filtrado, recuperación de errores, y calidad y servicio (QoS).

El AR9220 es compatible con dos flujos de tráfico simultáneo con un máximo de dos cadenas integradas de transmisión y recibe un rango de cadenas de alto rendimiento y desempeño. Transmite combinadas las cadenas de banda base (I) y las señales de cuadratura (Q), convierte a la frecuencia deseada, y conduce la señal de RF de múltiples antenas. Recibe las cadenas utilizando una arquitectura integrada que no requiere filtros de frecuencia intermedia off-chip (SI). El sintetizador de frecuencia compatible con pasos MHz para que coincida con frecuencias definidas por las especificaciones IEEE 802.11a/b/g/n [32].

El AR9220 dispone de una ventana de transferencia de datos hacia y desde el host que utiliza una interfaz PCI que ofrece generación de interrupciones y la información, ahorro de energía, y generación de informes de estado. Otras interfaces externas incluyen la serie EEPROM y GPIO. El AR9220 interactúa con los dispositivos estándar existentes 802.11a/b/g.

Tres antenas se proporcionan para soportar la funcionalidad MIMO. Hay dos conectores de RF placa a placa de a bordo, para conectar dos cadenas de señales de RF a la buena distribución de antenas MIMO.

4.3. Repetidoras Wi-Fi

Con el objetivo principal es unir dos redes con enlaces inalámbricos, y en algunos casos, para proporcionar cobertura inalámbrica en puntos donde no hay acceso a la red cableada, sin renunciar a la comunicación con cable. El sistema para realizar este tipo de enlace no está estandarizado, existiendo muchas soluciones propietarias, cada una con sus virtudes y defectos, aunque los principios básicos de funcionamiento son similares. La meta es permitir la interconexión de los puntos de acceso de una red 802.11 sin necesidad de estar conectados a una red cableada. En una red inalámbrica un punto de acceso puede ser configurado de manera que asuma uno de los siguientes tres roles [44]:

- **Estación base principal.** Es el punto de acceso que está conectado a la red cableada. Podrá dar cobertura clientes locales y aceptará conexiones de estaciones base repetidora o remota.
- **Estación base repetidora.** Es aquella que recibe y tramita datos ente una estación base remota u otra estación base repetidora y una estación base principal u otra estación base repetidora. Por tanto, realizará saltos intermedios y como su propio nombre indica repetirá la señal para alcanzar puntos más lejanos. Así mismo puede dar servicio a clientes inalámbricos locales.
- **Estación base remota.** Es aquella que da servicio a clientes locales y que tiene enlaces a estaciones base remotas o estaciones base principales, pero no es un salto intermedio para otras estaciones base.

La comunicación con enlace inalámbrico dota a los puntos de acceso con dos módulos de radio, pudiendo así utilizar uno para crear el enlace con otras estaciones base y el segundo para dar cobertura local. Por lo expuesto, las redes inalámbricas pueden ser utilizadas en dos modos [44]:

- **Puente inalámbrico:** En este modo el equipo no permite la conexión de clientes locales, por lo que no forma un nodo de cobertura WiFi. Se utiliza para crear enlaces punto a punto, por ejemplo en la Figura 4.4 se indica la conexión entre dos torres.

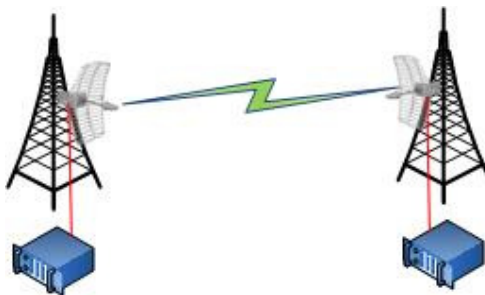


Figura 4.4. Conexión puente inalámbrico

- **Repetidora inalámbrica:** Con esta configuración el equipo, además de crear el enlace inalámbrico con otras estaciones base, permite la conexión de clientes locales, creando un nodo que será una extensión de la red WiFi. En la Figura 4.5 se indica la conexión repetidora inalámbrica con conexión de clientes locales.

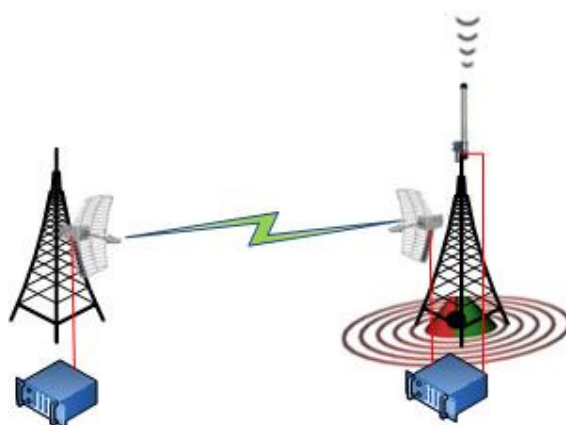


Figura 4.5. Conexión Repetidora Inalámbrica

En el caso de enlaces punto a punto se debe conectar una antena exterior para que la señal se propague concentrada en una dirección específica, con lo que se gana confianza en la conexión y sobre todo alcance. Estas antenas externas direccionales deben ser de tipo yagi, rejilla o parabólicas; que proporcionen alcances mayores de los obtenidos con antenas convencionales, siendo en algunos casos de varias decenas de kilómetros. Los enlaces inalámbricos usualmente presentan limitaciones en el campo de la seguridad, no están disponibles todas las opciones de encriptación y en los equipos más económicos están disponibles solo los métodos más básicos de encriptación y autenticación.

Repetidoras WiFi para la red inalámbrica de la ESPE

Las repetidoras WiFi para que puedan funcionar con largas distancias, deben construirse como un router inalámbrico con dos interfaces inalámbricas que puedan dar acceso por WiFi en redes WiLD, para lo cual los routers deben tener la característica de cambiar los parámetros de la capa MAC. En este tipo de redes todos los nodos intermedios (repetidoras) tienen dos o más interfaces WiFi para conectar enlaces punto a punto a otros nodos de la red.

El router inalámbrico será construido mediante una tarjeta ALIX3d3, que tiene dos interfaces inalámbricas con la capacidad de trabajar como repetidora. Para obtener una repetidora con cuatro interfaces de radio, se conectan por Ethernet dos de estas tarjetas.

Para dar cobertura inalámbrica a medianas y grandes poblaciones con esta tarjeta configurada como router o repetidora, se debe realizar una conexión punto a punto entre los nodos de la red WiLD, mediante antenas direccionales con la potencia necesaria para que se realice la conexión de dichos nodos, de acuerdo a la distancia entre ellos. Además, los nodos a conectarse deben tener línea de vista.

4.3.1. Ubicación física

Para la distribución de internet en una área extensa se usa las estación base y estación repetidora, las cuales consisten en que desde un lugar donde habitualmente se encuentra la conexión a Internet (no es necesario) se instala la estación base cuya función consiste en hacer llegar la conexión en modo punto a punto a otro nodo estación base o estación repetidora. Los nodos de repetición, basados en sistemas de doble radio, recibirán desde su radio configurado en modo repetidora la conexión proveniente de la estación base y la repartirá a los abonados de los alrededores mediante la radio configurada en modo Access Point (AP) o solo repetirá la señal si está configurado en modo repetidora, como se indica en la Figura 4.6.

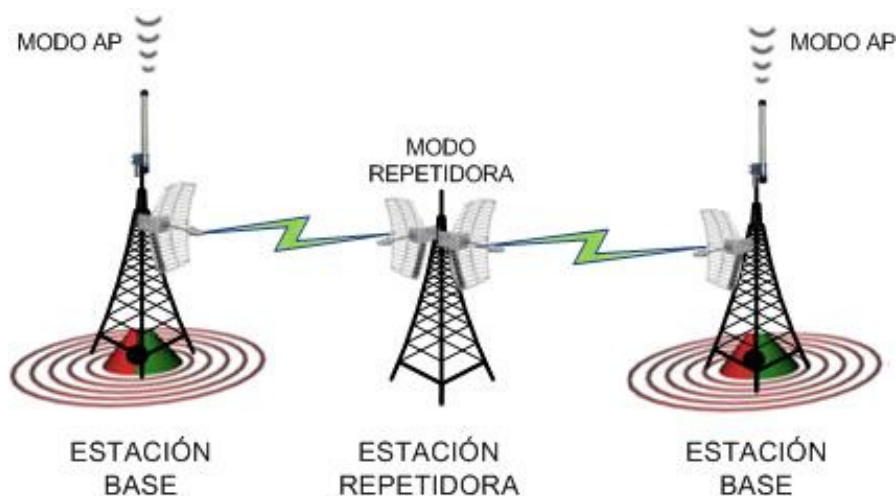


Figura 4.6. Estación base y estación repetidora

Lo más habitual es que la estación base esté equipada con una antena omnidireccional, que cubre una extensa área de 360° horizontalmente y una antena direccional. La radio de la estación repetidora estará conectada a una antena direccional de bajo costo (solo necesita recibir la señal de un punto muy concreto que es la estación base), y la radio de la estación

repetidora estará conectada a una antena omnidireccional de buena calidad y ganancia o una antena direccional cuando es sólo repetidora.

En la red WiLD ESPE la conexión de los nodos se va a realizar en modo punto a punto, por ser más fácil de configurar los equipos y no existe interferencias. A continuación se indica las coordenadas geográficas y ubicación física, de las estaciones bases y repetidoras de la red de larga distancia ESPE:

1. Coordenadas geográficas de la red WiLD ESPE

En la Tabla 4.9 se indica las coordenadas geográficas de las estaciones bases y repetidoras.

Tabla 4.9. Coordenadas geográficas de las estaciones

LUGAR	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE ESTACIÓN
ESPE Sangolquí	00°18'50.47"S	78°26'43.04"O	BASE
ESPE Latacunga	00°56'9.34"S	78°36'42.66"O	BASE
ESPE IASA I	00°23'07.66"S	78°24'55.38"O	BASE
ESPE IASA II	00°24'44"S	79°18'32"O	BASE
Atacazo	00°21'20.78"S	78°37'10.61"O	REPITIDORA
Guango	00°53'45"S	78°30'6"O	REPITIDORA
Bombolí	00°14'48"S	79°11'33"O	REPITIDORA

2. Ubicación física de la red WiLD ESPE

a. Esquema de ubicación de las estaciones bases y repetidoras

En base a la Tabla 4.9 que indica las coordenadas geográficas de las Sedes de la ESPE y repetidoras, y con el software Radio Mobile se obtiene la topología de la red inalámbrica de larga distancia ESPE, que se indica en la Figura 4.7.

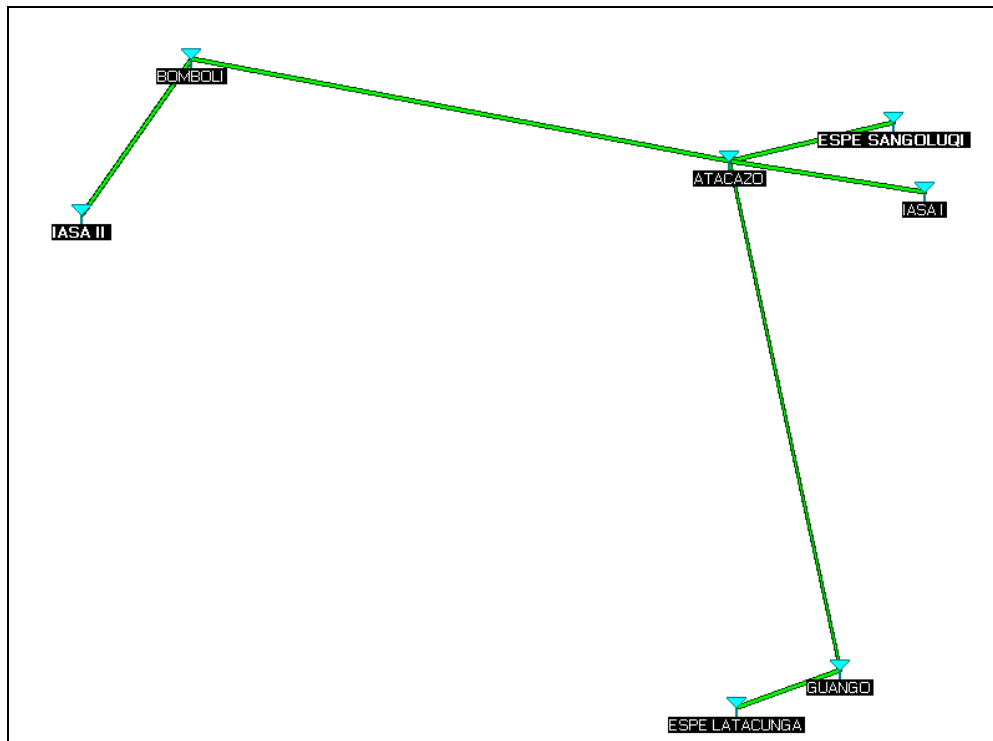


Figura 4.7. Topología de la red inalámbrica ESPE

b. Ubicación de las estaciones repetidoras

Las Figuras 4.8, 4.9, y 4.10 indican la ubicación física de las repetidoras Atacazo, Bombolí y Guango, de la red inalámbrica de larga distancia ESPE.



Figura 4.8. Torres de la repetidora del Atacazo



Figura 4.9. Torres de la repetidora del Bombolí



Figura 4.10. Torres de la repetidora de Guango

4.3.2. Cumplimiento de condiciones básicas: accesibilidad, energía eléctrica, agua y línea de vista

Para las repetidoras WiFi de larga distancia que se establecieron para la red de la ESPE, debe tenerse en cuenta que se pueda realizar con facilidad las actividades: instalar los equipos, alimentar con energía eléctrica, poner en funcionamiento y dar mantenimiento periódico. Para lo cual debe cumplir las siguientes condiciones:

1. Accesibilidad
2. Energía eléctrica
3. Agua potable
4. Línea de vista

A continuación se explican cada uno de estas condiciones:

1. Accesibilidad

Las Figuras 4.11, 4.12 y 4.13 indican el acceso vehicular de las repetidoras Atacazo, Bombolí y Guango, de la red inalámbrica de larga distancia ESPE. Excepto la repetidora Atacazo que en el último tramo de aproximadamente de 500 m se debe llegar a caballo o a pie.



Figura 4.11. Acceso a las antenas de Bombolí



Figura 4.12. Acceso a las antenas de Guango

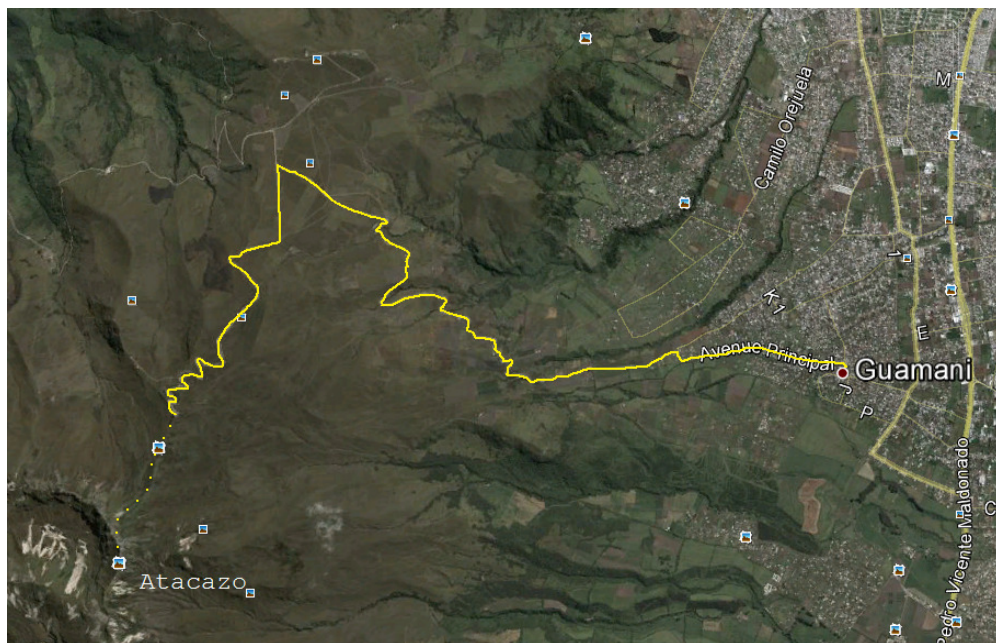


Figura 4.13. Acceso a las antenas del Atacazo

2. Energía eléctrica

En las tres repetidoras Atacazo, Bombolí y Guango, serán alimentados los routers a la energía eléctrica por el cable de datos con inyector POE, esto para cada Tarjeta ALIX.

3. Agua potable

Las instituciones que tienen antenas en las tres repetidoras Atacazo, Bombolí y Guango, suministran el agua en barriles cada 15 días.

4. Línea de vista

Para determinar las líneas de vista entre las diferentes estaciones base y repetidoras se utilizó el software Radio Mobile, como se indica en las Figuras 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19.

Los parámetros establecidos en la configuración de las antenas direccionales, para las conexiones entre estaciones base y repetidoras de las Sedes de la ESPE, están especificados en las Tablas 4.10 y 4.11.

Tabla 4.10. Parámetros de las antenas direccionales transmisoras

PARÁMETRO	VALOR
Frecuencia de Tx	2,4 GHz
Potencia de Tx	0,1995 W o 23 dBm
Pérdidas totales	0,5 dB
Ganancia de antena	24 dBi o 21,85 dBd
Potencia radiada	EIRP=44,67 w o ERP=27,24 W
Tipo de antena	Direccional HyperGain HG2424G
Altura de la antena	20m

Tabla 4.11. Parámetros de las antenas direccionales receptoras

PARÁMETRO	VALOR
Frecuencia de Rx	2,4 GHz
Campo Eléctrico obligatorio	31,46 dB μ V/m
Ganancia de antena	24 dBi o 21,85 dBd
Pérdidas totales	0,5 dB
Sensibilidad de Rx	7,0795 μ V o -90 dBm
Tipo de antena	Direccional HyperGain HG2424G
Altura de la antena	20m

La Figura 4.14 indica la línea de vista *ESPE Sangolquí – Atacazo*.

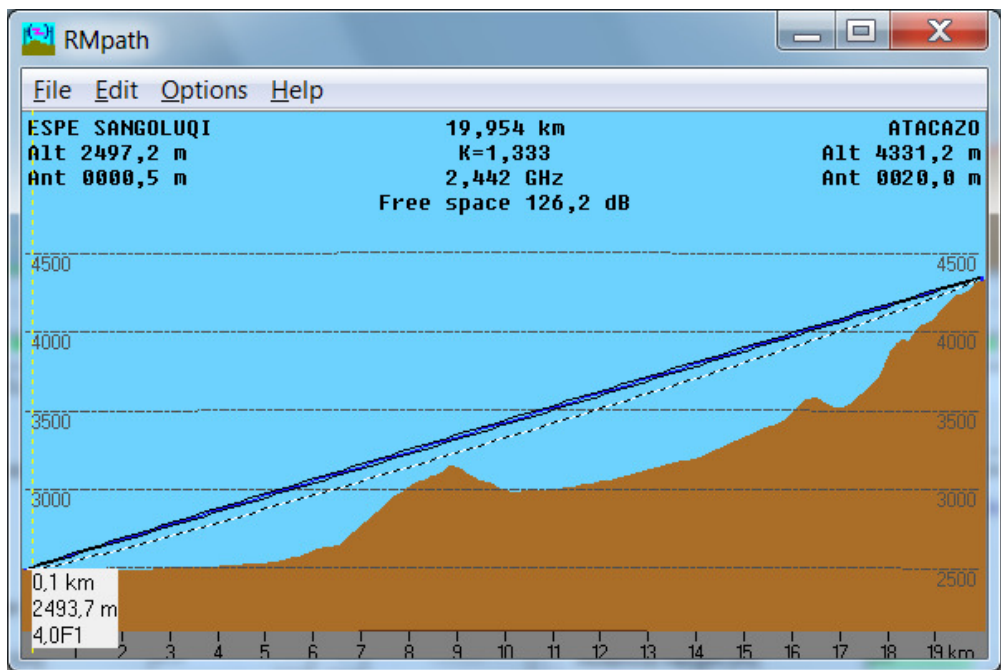


Figura 4.14. Línea de vista *ESPE Sangolquí – Atacazo*

La Figura 4.15 indica la línea de vista *ESPE IASA I – Atacazo*.

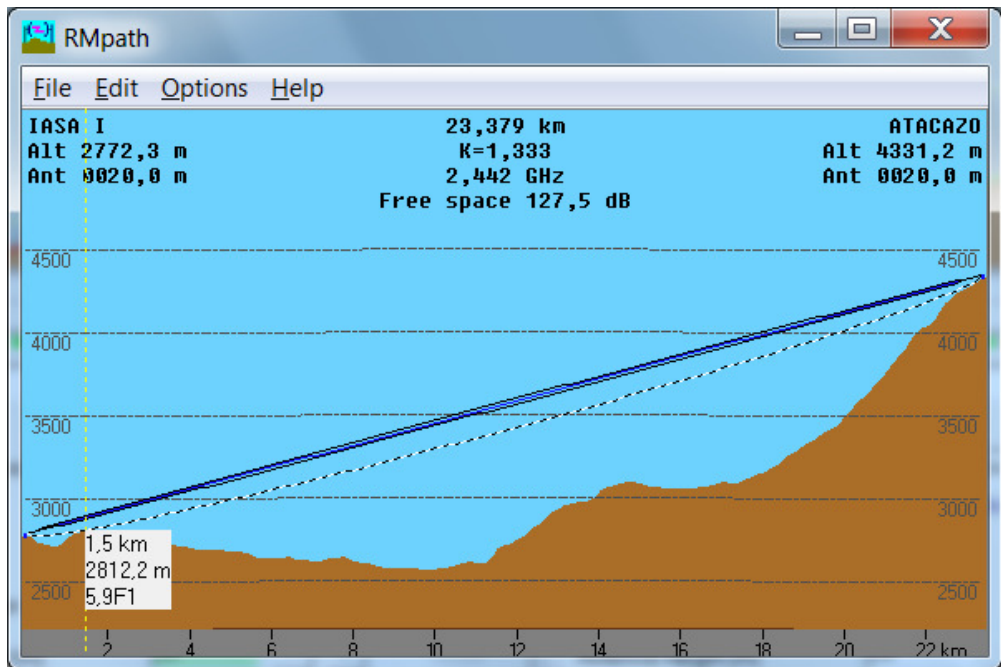


Figura 4.15. Línea de vista *ESPE IASA I – Atacazo*

La Figura 4.16 indica la línea de vista *ESPE Atacazo - Guango*.

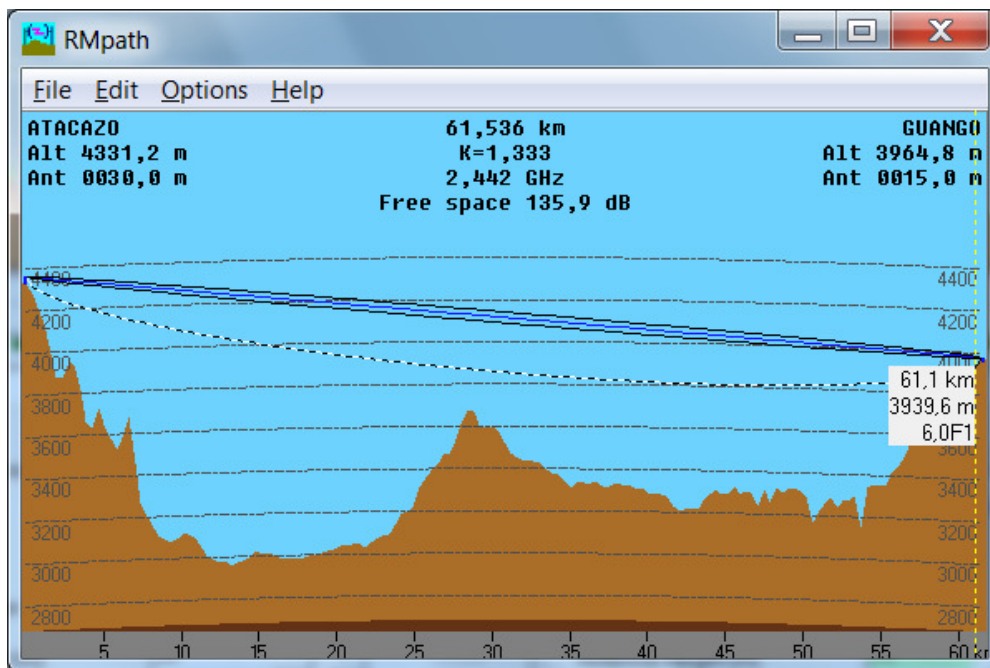


Figura 4.16. Línea de vista *Atacazo - Guango*

La Figura 4.17 indica la línea de vista *Atacazo - Bombolí*.

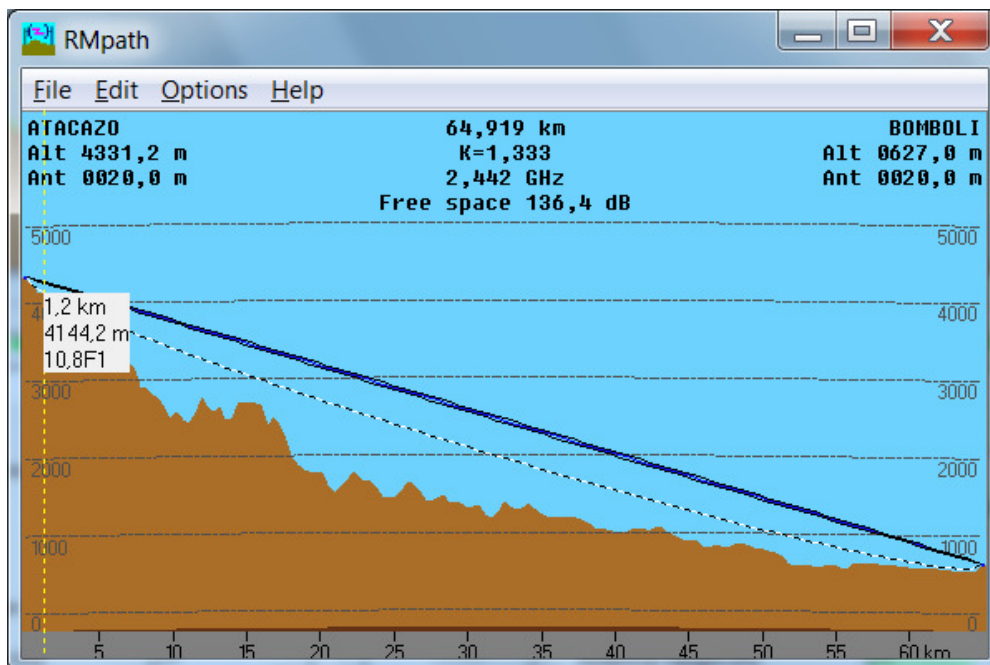


Figura 4.17. Línea de vista *Atacazo - Bombolí*

La Figura 4.18 indica la línea de vista *ESPE IASA II - Bombolí*.

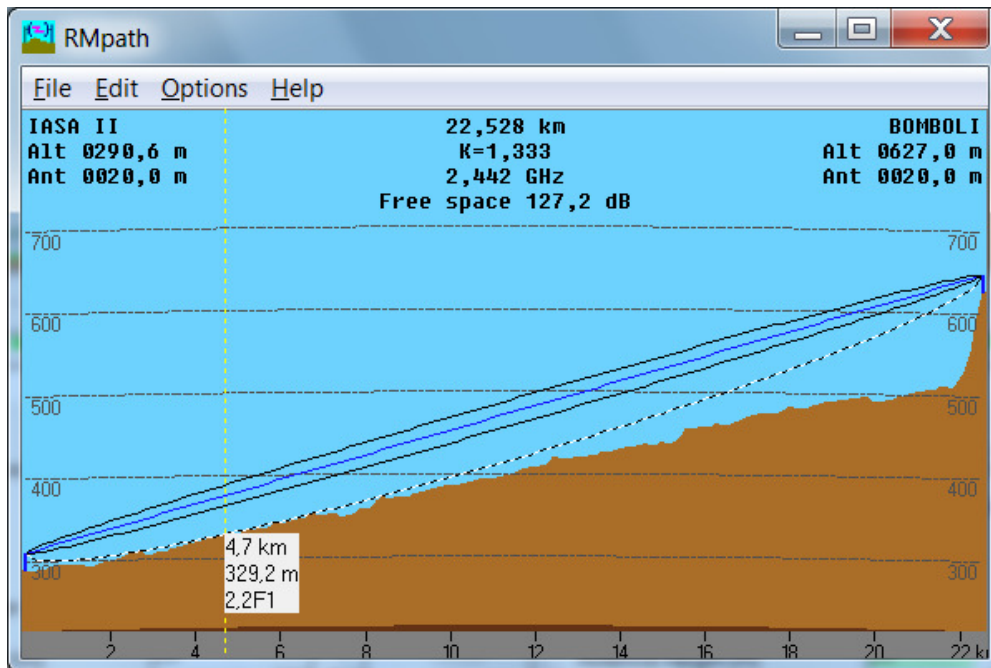


Figura 4.18. Línea de vista *ESPE IASA II – Bombolí*

La Figura 4.19 se indica la línea de vista *ESPE Latacunga – Guango*.

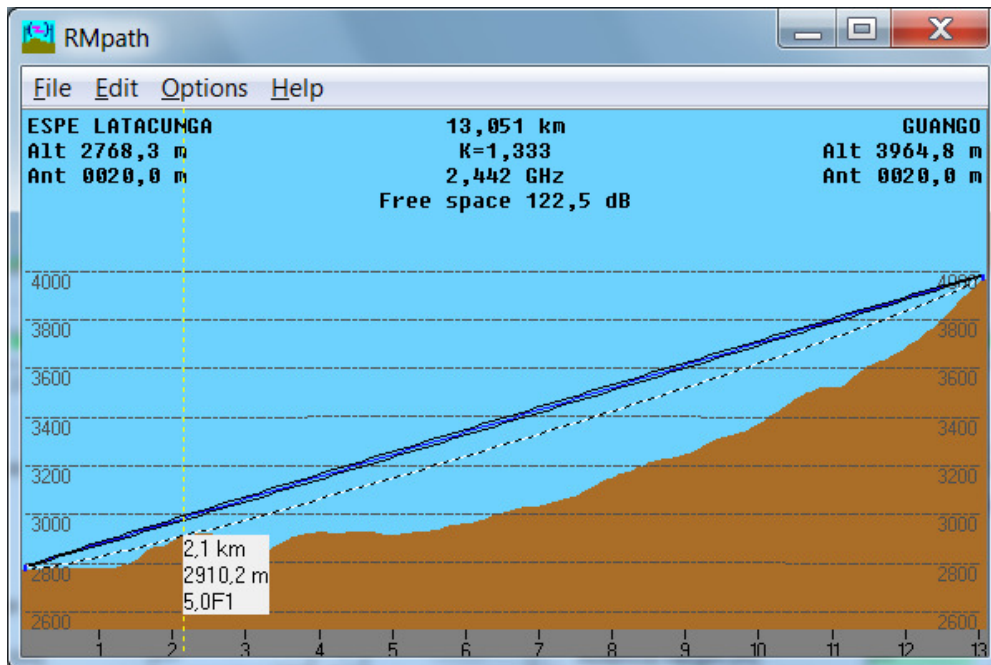


Figura 4.19. Línea de vista *ESPE Latacunga – Guango*

4.4. Planificación de la red

La red WiLD para la ESPE se diseñó en el programa Radio Mobile, el cual permite la planificación visual de los radioenlaces para asegurar línea de vista en todos los perfiles y niveles de señal recibida, como se indican en las Figuras 4.14 a 4.19, en base a la Tabla 4.10 que indica los parámetros de las antenas direccionales transmisoras y la Tabla 4.11 que indica los parámetros de las antenas direccionales receptoras.

Para la planeación de la red WiLD de la ESPE se debe determinar las siguientes actividades:

1. Topología de la red WiLD ESPE
2. Direcciones IP de red WiLD ESPE
3. Parámetros ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime
4. Configuración de la tarjeta ALIX
5. Montaje de los equipos en la torre
6. Ubicación y radiación de las antenas omnidireccionales en las Sedes de la ESPE
7. Equipamiento para la Red Inalámbrica de Larga Distancia

En los siguiente subtemas se analizarán con más detalle cada una de las actividades mencionadas.

4.4.1. Topología de la red WiLD ESPE

En una planificación de redes inalámbricas de mediana y larga distancia, es necesario determinar la altura y ubicación de las estaciones base de transmisión y repetición; mediante coordenadas geográficas. También, interesan las líneas de vista y distancias entre estaciones; así como la altura de las torres de cada estación.

1. Ubicación de las estaciones.

En la Tabla 4.12 se indica la ubicación de las estaciones con las coordenadas geográficas y alturas.

Tabla 4.12. Coordenadas geográficas y alturas de las estaciones

LUGAR	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (m)	ALTURA TORRE (m)
ESPE Sangolquí	00°18'50.47"S	78°26'43.04"O	2497,2	20
ESPE Latacunga	00°56'9.34"S	78°36'42.66"O	2768,3	20
ESPE IASA I	00°23'07.66"S	78°24'55.38"O	2720,0	20
ESPE IASA II	00°24'44"S	79°18'32"O	290,0	20
Atacazo	00°21'20.78"S	78°37'10.61"O	4331,2	20
Guango	00°53'45"S	78°30'6"O	3964,8	20
Bombolí	00°14'48"S	79°11'33"O	627,0	20

Se necesita las repetidoras Atacazo, Bombolí y Guango, para tener línea de vista en la interconexión de la red WiLD ESPE, porque la conexión es punto a punto, con el objetivo de tener una instalación y configuración fácil de los routers, lo que permite eliminar las interferencias, perdidas de paquetes al mínimo, eliminación de nodos ocultos y eliminación de nodos expuesto.

2. Distancias entre estaciones

En la Tabla 4.13 se indica las distancias entre estaciones.

Tabla 4.13. Distancias entre estaciones

LUGAR	DISTANCIA (Km)
ESPE Sangolquí – Atacazo	19,954
ESPE IASA I – Atacazo	23,379
Atacazo - Guango	61,536
Atacazo - Bombolí	64,919
ESPE IASA II – Bombolí	22,528
ESPE Latacunga - Guango	13,051

En la Figura 4.20 se indica la topología de la red inalámbrica ESPE, definiéndose siete nodos, que enlaza las estaciones base de las Sedes de la ESPE: ESPE Sangolquí, ESPE Latacunga, ESPE IASA I y ESPE IASA II, para lo cual se necesita las repetidoras: Atacazo, Guango y Bombolí, que permiten la línea de vista entre los respectivos nodos, y así asegurar la conexión entre dichos nodos. Además, se debe indicar que la conexión entre los nodos intermedios está en modo punto a punto.

Por lo tanto la red WiLD ESPE queda conformada por 4 estaciones base y 3 repetidoras, con lo que se establece 6 enlaces inalámbricos de larga distancia.

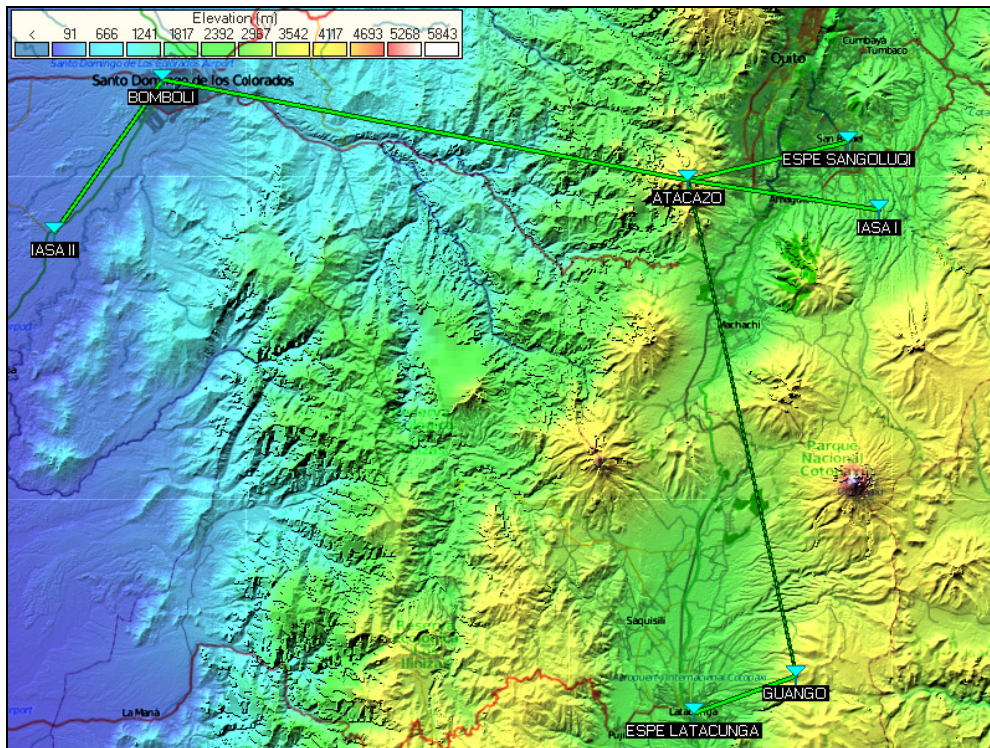


Figura 4.20. Topología de la red inalámbrica ESPE

4.4.2. Direcciones IP de la red WiLD ESPE

Para las Sedes de la ESPE se configura 4 de redes inalámbricas con direcciones IP locales, independientes entre ellas, y para la red de larga distancia las conexiones entre Sedes es a través de las repetidoras Atacazo, Bombolí y Guanga, con direcciones IP públicas

En la Figura 4.21 se indica el esquema de direcciones IP, para cada estación base y repetidora.

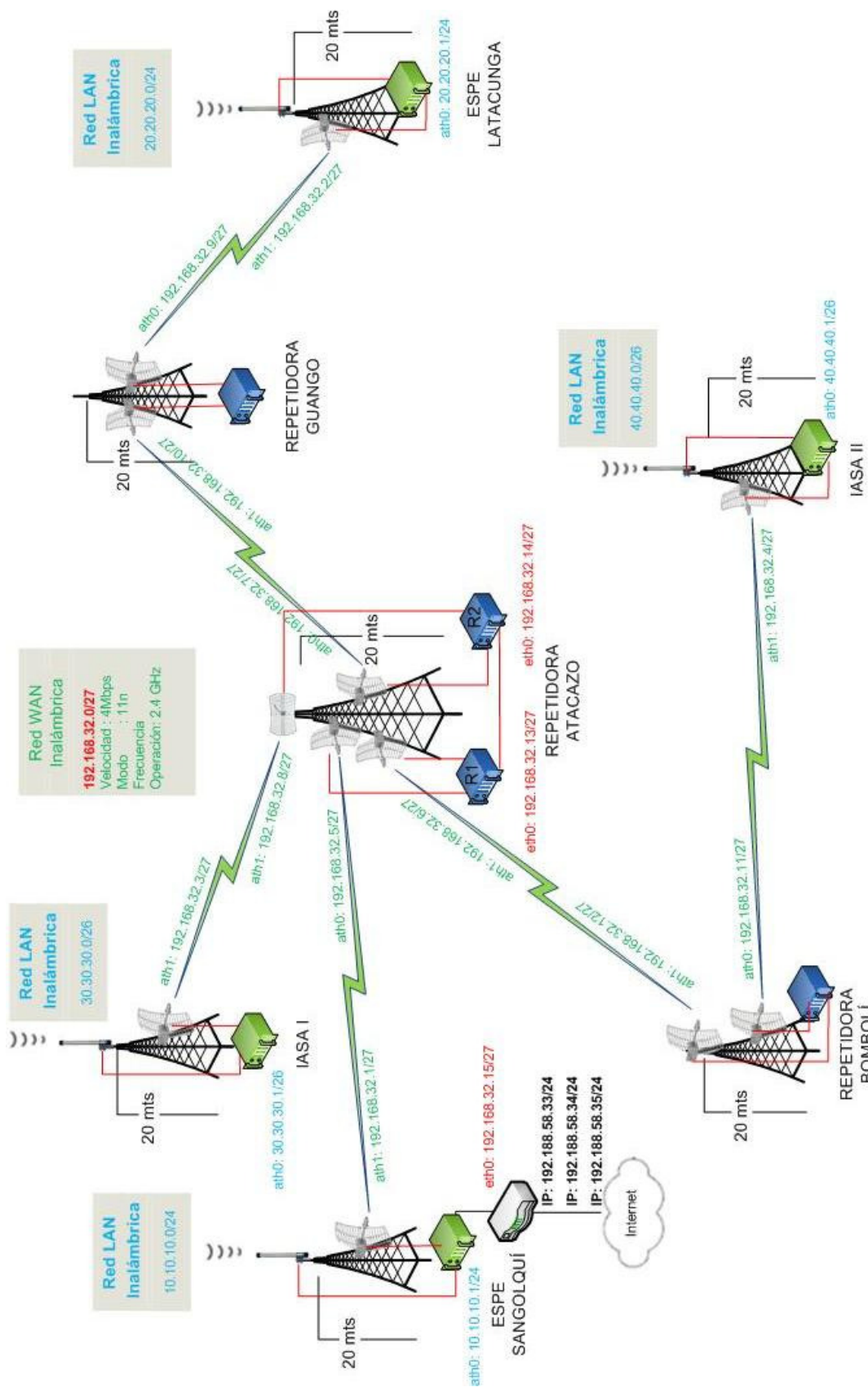


Figura 4.21. Topología de la red Wild ESPE

4.4.3. Parámetros ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime

En la Tabla 4.14 se indican los valores calculados para ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime en función de la distancia, para los enlaces de la ESPE, para lo cual se utiliza las Ecuaciones 3.3, 3.4 y 3.5.

Tabla 4.14. ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime en función a la distancia, para los enlaces de la ESPE

LUGAR	DISTANCIA (Km)	ACKTimeout [μseg]	CTSTimeout [μseg]	SlotTime [μseg]
ESPE Sangolquí – Atacazo	19,954	187	187	133
ESPE IASA I – Atacazo	23,379	210	210	156
Atacazo - Guango	61,536	464	464	411
Atacazo - Bombolí	64,919	487	487	433
ESPE IASA II – Bombolí	22,528	204	204	150
ESPE Latacunga - Guango	13,051	141	141	87

4.4.4. Configuración de la tarjeta ALIX

La configuración de la tarjeta ALIX consiste en construir un router inalámbrico que pueda dar acceso por WiFi en redes de larga distancia, el cual será un router con dos interfaces inalámbricas, porque todos los nodos repetidoras tienen dos interfaces WiFi para conectar a otro nodo de la red, por enlaces punto a punto. Además, para formar una repetidora con cuatro interfaces de radio se conectan por Ethernet dos tarjetas ALIX configuradas como routers, las cuales tienen dos interfaces inalámbricas cada una.

Los siguientes elementos son utilizados para construir un router inalámbrico con la tarjeta ALIX3d3 [56]:

- Imagen de Voyage Linux v0.8.0, una micro distribución del S.O. Linux para routers inalámbricos.
- Placa ALIX3d3, que es un computador embebido con slot CF para el sistema operativo y dos slots miniPCI para radios WiFi, además de dos puertos ethernet y uno serie.

- 2 Radios 802.11b/g/n miniPCI.
- Memoria Compact Flash de 1GB.
- 2 Pigtailes, minicables coaxiales que conectan las antenas a las tarjetas inalámbricas.
- 2 Antenas: una direccional de rejilla de 24dBi y otra omnidireccional de 8 dBi.
- Carcasa de exteriores para ALIX.
- Fuente de alimentación.
- Inyector POE para alimentar el router por el cable de datos.

Para la configuración el router con la tarjeta ALIX se sigue los siguientes pasos [56]:

1. Instalación del Sistema Operativo. Instalación de Voyage en una Compact Flash
2. Integración del driver ath9k y Voyage Linux.
3. Montaje y configuración del router

A continuación se describe cada paso para la configuración del router con la tarjeta ALIX:

1. Instalación del Sistema Operativo. Instalación de Voyage en una Compact Flash

Montar con un lector USB de *Compact Flash* la unidad de almacenamiento en la PC con Linux, particionarla y formatarla con un sistema de archivos *ext2*. Se necesita un nombre de dispositivo correcto que corresponde a la CF, para ello se conecta la tarjeta y ejecutar **dmesg**:

```
$ dmesg  
[...]  
[57353.455055] SCSI device sdd: 1000944 512-byte hdwr sectors (512 MB)
```

Por ejemplo el dispositivo CF podría llamarse *sdd* (o cualquier otro nombre), luego utilizar el comando *fdisk* para destruir la partición FAT nativa (si no está hecho) y crear una partición *Ext2*:

```
$ fdisk /dev/sdd
```

Nota: Asegurarse de que se usa el nombre de dispositivo correcto, porque un error en esto puede suponer la reescritura del disco duro.

El comando fdisk ahora debería reportar:

```
# fdisk -l
Device Boot Start End Blocks Id System
/dev/sdd1 1 505 250449 83 Linux
```

Si no es así, antes de continuar revisar el procedimiento previo.

Ahora hay que crear el sistema de archivos y deshabilitar los chequeos de disco obligatorios cada determinado número de arranques, con los siguientes comandos:

```
# mkfs.ext2 /dev/sdd1
# tune2fs -c 0 /dev/sdc1
```

A continuación, ir al directorio en que tiene la distribución y desempaquetarlos; por ejemplo, si se copia al escritorio, sería:

```
$ cd ~/Escritorio
$ tar --numeric-owner -jxf voyage-0.5.2.tar.bz2
```

Ignorar los mensajes “*Cannot mknod: Operation not permitted*”, esto se debe a que se está trabajando como usuario normal y no se puede crear dispositivos */dev/console* y */dev/null*, pero el sistema ya los tiene y no necesita crearlos de nuevo.

En este momento copiar estos archivos a la tarjeta *Compact Flash*. Esto es sencillo gracias al script de instalación. Entrar en el directorio *voyage0.8.0* y hacerse usuario root; crear el directorio *'/mnt/cf'*, que se necesitará después:

```
# cd voyage-0.8.0
# sudo bash
<introducir contraseña de usuario si la tiene>
# mkdir /mnt/cf
```

Entonces ejecutar el siguiente script:

```
# ./usr/local/sbin/voyage.update
```

Seleccionar “*I Create new Voyage Linux disk*” y seguir los siguientes pasos:

What would you like to do?

1. Specify Distribution Directory
2. Select Target Profile
3. Select Target Disk
4. Select Target Bootstrap Loader
5. Configure Target Console
6. Exit

El directorio de la distribución es en el que se encuentra en este momento, y es correcto por defecto (hay que verificarlo). *Target Profile* es el tipo de sistema en que se va a instalar la distribución, seleccionar '**8.ALIX**'. *Target Disk* es el dispositivo correspondiente a la CF, asegurarse de que es el correcto (p.e. */dev/sdd*). Cuando solicita, proponer que use la partición '**1**', y aceptar como punto de montaje el directorio '**/mnt/cf**'.

En la opción '*4 – Select Target Bootstrap Loader*' declarar cuál es el cargador del sistema operativo que se va a usar. El cargador es una pieza de software que indica al hardware donde están el kernel y la raíz del sistema de archivos. El instalador propone por defecto *grub*, pero escoger '**lilo**'.

Aceptar lo que propone el instalador por defecto en el resto de opciones y digitar 'y' cuando pregunta si puede continuar con la copia de los archivos a la CF.

Configuración inicial

Montar el Sistema Operativo de la CF para modificar algunos parámetros iniciales, empleando el comando:

```
# mount /dev/sdd1 /mnt/cf
```

Se ejecuta el script: '*# ./usr/local/sbin/voyage.update*'; y se configura los siguientes parámetros:

```

Configuration details:
-----

Distribution directory:  /root/Desktop/RIBAP2/voyage-0.8.0

Disk/Flash Device:     /dev/sdg
Installation Partition: /dev/sdg1

Will be mounted on:    /mnt/cf

Target system profile:  ALIX
Target console:         serial
Target baud rate:       38400

Bootstrap installer:    lilo

OK to continue (y/n)? █

```

Nota: Escoger los nombres de dispositivo y de directorio de montaje que sean correctos en cada caso.

Digitar 'y' en la pregunta y es la finalización de la configuración realizada, como se indica a continuación:

```

OK to continue (y/n)? y

Ready to go ....
Copying files .... done

Removing pcmcia from update-rc.d
perl: warning: Setting locale failed.
perl: warning: Please check that your locale settings:
    LANGUAGE = "es_ES.UTF-8",
    LC_ALL = (unset),
    LANG = "es_ES.UTF-8"
    are supported and installed on your system.
perl: warning: Falling back to the standard locale ("C").
Removing any system startup links for /etc/init.d/pcmcia ...
Removing dnsmasq.pxe.conf in /etc/dnsmasq.more.conf

Running lilo ....
Added Linux *
Skipping /vmlinuz.old
copyfiles.sh script completed
What would you like to do?
  1 - Specify Distribution Directory
  2 - Select Target Profile
  3 - Select Target Disk
  4 - Select Target Bootstrap Loader
  5 - Configure Target Console
  6 - Exit
    (default=6 [Exit]): █

```

Editar el script de configuración de red `'/etc/network/interfaces'` y activar la interfaz Ethernet 0 `'eth0'` (la que está junto al conector de alimentación) con los datos de red adecuados, de acuerdo a la tarjeta que sea necesario:

```
# vi /etc/network/interfaces
```

Previamente eliminar la línea bajo `'auto eth0'`, la que contiene `'iface eth0 inet dhcp'`, poniéndose encima con las teclas de cursor y escribiendo `'dd'`; luego pulsar `'i'` para insertar y escribir:

```
iface eth0 inet static  
address W.X.Y.Z  
netmask 255.255.255.U  
broadcast W.X.Y.255
```

En lo anterior sustituir `'W.X.Y.Z'` por la dirección IP que pertenezca a la misma subclase de los routers empleados, igual sustituir `'U'` para obtener la máscara de la subred correspondiente. Salir con ESC del modo edición, y pulsar `'ZZ'` para salir del editor. Salir a otro directorio y desmontar la CF:

```
# cd  
# umount /mnt/cf
```

Por ejemplo, para el router de la ESPE Sangolquí, la Ethernet 0 `'eth0'`, IP: 192.168.32.15, con máscara 255.255.255.0 y broadcast 192.168.32.255, editar el script de configuración de red usando: `'# vi/etc/network/interfaces'`; para activar la interfaz Ethernet 0 `'eth0'`, estableciendo los parámetros de red mostrados a continuación:

```
auto eth0  
iface eth0 inet static  
address 192.168.32.15  
netmask 255.255.255.0  
broadcast 192.168.32.255
```

Para el resto de routers que tienen interfaces `eth0`, tales como: repetidora Atacazo routers R1 y R2, ver Tabla 4.15 en la página 112.

2. Integración del driver ath9k y Voyage Linux

La tarjeta de red inalámbrica DNMA-92 es dotada por PCEngines para la integración del driver ath9k y Voyage Linux, permitiendo el funcionamiento con el estándar 802.11n.

Para instalar el paquete *iw* descargar desde <http://www.voyage.hk/dists/0.6/iw/>, porque no es parte del paquete Voyage Linux 0.8.0, por lo que se necesita instalarlo manualmente.

Aunque no se tenga instalada la herramienta *iw*, con los comandos de más abajo, se puede utilizar para obtener información sobre la interfaz inalámbrica nl80211 basada en lugar de *iwconfig*.

La instalación de la herramienta de *iw*, se realiza con las siguientes instrucciones:

```
# remountrw
# wget http://www.voyage.hk/dists/0.6/iw/iw_0.9.14-1_i386.deb
# dpkg -i iw_0.9.14-1_i386.deb
```

De acuerdo con este enlace, *ath9k* se tendrá que utilizar el controlador nl80211 para funciones hostapd. Por lo tanto, en `/etc/hostapd/hostapd.conf`, se añade lo siguiente al final del archivo [29].

```
driver=nl80211
interface=wlan0
logger_syslog=-1
logger_syslog_level=2
logger_stdout=-1
logger_stdout_level=2
debug=4
dump_file=/tmp/hostapd.dump
ctrl_interface=/var/run/hostapd
ctrl_interface_group=0
macaddr_acl=0
auth_algs=3
eapol_key_index_workaround=0
eap_server=0
wpa=3
```

```
ssid=voyage-wpa
wpa_passphrase=voyage-wpa
wpa_key_mgmt=WPA-PSK
wpa_pairwise=TKIP
channel=11
hw_mode=g
eapol_version=1
```

Se debe tener en cuenta que Voyage Linux usa *wlan0* para la interfaz *ath9k*. De la configuración anterior, se ha configurado WPA/WPA2, con *voyage-wpa* como clave tanto SSID y la pre-compartida, ejecutando en el modo 802.11g sobre el canal 11 y *eapol_version = 1* configurada para compatibilidad hacia atrás.

Por último, activar *wlan0* en */etc/network/interfaces*:

```
auto wlan0
iface wlan0 inet static
    address 10.1.10.1
    netmask 255.255.255.0
    broadcast 10.1.10.255
    up nat.sh wlan0 eth0 "10.1.10.0/24"
```

No es necesario configurar nada con herramientas *iw* desde *hostapd* se hará solo. Ahora, se debe asegurar de que *hostapd* está activado en */etc/default/hostapd* y reiniciar la interfaz *wlan0* y *hostapd* con:

```
# ifdown wlan0
# ifup wlan0
# /etc/init.d/hostapd restart
```

3. Montaje y configuración del router

Para el montaje y configuración del router se siguen los siguientes pasos:

- I. Montaje del hardware
- II. Configuración de la primera interfaz inalámbrica
- III. Configuración de la segunda interfaz inalámbrica
- IV. Configuración de las interfaces inalámbricas para larga distancia

A continuación se describe cada paso para el montaje y configuración del router:

I. Montaje del hardware

Si se ha realizado bien el punto 1, ya se puede extraer la CF del lector (después de desmontarla del PC) y ponerla en el alojamiento correspondiente de la placa ALIX.

En las tarjetas WiFi conectar en cada una un pigtail, escogiendo para ello el conector derecho (cada tarjeta WiFi tiene dos, que se usan para diversidad en recepción, pero sólo uno se usa para transmisión y el derecho es el que se activa por defecto). Hacer lo mismo para el otro conector. Ahora colocar con cuidado las tarjetas WiFi en los correspondientes slots miniPCI.

Introducir la placa base en su posición correcta en la caja, acoplar los pigtails en los orificios que tiene la chapa para ello, sujetar bien las tuercas y cerrar la caja, y fijar las antenas; en este momento los routers están listos. Ahora conectar en los routers que sean necesarios el cable Ethernet (tiene dos puertos Ethernet, escoger *eth0* el que está junto al conector de alimentación); el router de ESPE Sangolquí conectar al router de salida a internet y los routers de la repetidora Atacazo conectar entre ellos en los puertos *eth0*.

Alimentar los routers a través de un inyector POE en las repetidoras o directamente a través del conector de alimentación en las estaciones base. Se debe tener en cuenta que los sistemas POE funcionan con voltajes mayores a 43V y con cableados categoría A6 [49].

II. Configuración de la primera interfaz inalámbrica

El nodo inalámbrico montado en las estaciones base se van a comportarse en realidad como router, que tiene dos interfaces, *ath0* que se va a emplearla en modo 'Master' (Punto de acceso) y la otra *ath1* en modo 'Managed'. El objetivo de la primera es servir de punto de acceso a terminales inalámbricos (PDA's o portátiles de que disponga), mientras que la segunda servirá para conectarse al punto de acceso de otro nodo. En este trabajo las estaciones base son las Sedes de la ESPE.

El nodo inalámbrico montado en las repetidoras también se va a comportarse en realidad como router, pero con las dos interfaces, *ath0* y *ath1* empleadas en modo 'Managed', para conectarse al punto de acceso de otro nodo.

Hacer **ping** a la dirección del Punto de Acceso Master, si no fuera así revisar todo el proceso hasta llegar aquí. Acceder con un **ssh** al Punto de Acceso Master, y autenticarse con login '**root**' y password '**voyage**', o el login y password que se haya asignado.

En este momento comenzar a manejar las interfaces de red. Todas las interfaces de red se configuran y visualizan a nivel IP con el comando '**ifconfig**' si se necesita hacer manualmente, aunque la configuración que se deba permanecer después de rearrancar el sistema debe introducirse en el archivo '**/etc/network/interfaces**' como se hizo anteriormente. Escribiendo sólo el nombre del comando se obtiene la lista de interfaces y la configuración de cada una, además de unas estadísticas básicas.

Para acceder específicamente a los parámetros 802.11 de las interfaces WiFi de cara a la configuración del punto de acceso (nombre de red, canal, velocidad, etc.) se deberá utilizar el comando '**iwconfig**', y en algún caso '**iwpriv**'; recordar que para el estándar 802.11n se instaló la herramienta *iw*.

Escribir '**iwconfig**', se verá las distintas interfaces de red del sistema, y para aquellas que son WiFi se verá la configuración que tienen. Con este comando, además de visualizar la configuración de las interfaces inalámbricas, puede modificarse.

Usar las órdenes **iwconfig** necesarias para que el router inalámbrico ofrezca conectividad WiFi: como punto de acceso en modo 11n, velocidad automática y control automático de potencia, nombre de red, y sin autenticación. Entonces, tratar de secuenciar esas órdenes en el archivo '**/etc/network/interfaces**'. Para ello, bajo las líneas que atribuyen la IP, máscara y demás a la interfaz inalámbrica '*ath0*', añadir en orden esas instrucciones **iwconfig** precedidas por la palabra '**up**'. Antes se configura la interfaz Ethernet, ahora fijarse en la parte del archivo que aparece con comentarios (líneas comenzando con #) con la siguiente forma:

```
#auto ath0
```

```
#iface ath0 inet static  
# ...
```

Descomentar todas las líneas correspondientes a la interfaz *ath0* y modificar lo necesario para obtener la configuración que aparece a continuación, que corresponde a la estación base ESPE Sangolquí; grabar y salir.

```
auto ath0  
iface ath0 inet static  
    address 10.10.10.1  
    netmask 255.255.255.0  
    broadcast 10.10.10.255  
preup wlanconfig ath create wlandev wifi1 wlanmode ap  
madwifi-base wifi1  
wireless-mode Master  
up iwpriv ath0 mode 11n  
up iwconfig ath0 mode master  
up iwconfig ath0 essid SANGOL  
up iwconfig ath0 txpower auto  
up iwconfig ath0 enc off  
up iwconfig ath0 rate auto  
up nat.sh ath0 eth0 "192.168.32.0/27"
```

Con lo anterior, se está estableciendo a la interfaz WiFi *ath0*, con las siguientes características:

- Asignar a la interfaz *ath0* la configuración:

Interface: static	Broadcast: 10.10.10.0
Dirección: 10.10.10.1	Wlanmode: ap
Máscara: 255.255.255.0	Modo : Master

- Crear la interfaz virtual *ath0* basada en la interfaz física *wifi1*
- Poner la interfaz en modo 11n
- Configurar como punto de acceso de la estación base “SANGOL”, sin contraseña, con control automático de potencia y de velocidad. Para el resto de routers ver Tabla 4.16 en la página 112

- Ordenar que haga NAT para que cualquier paquete IP destinado al exterior pueda ser encaminado correctamente a través de la interfaz *eth0*

Si se ha realizado correctamente la configuración, al rearrancar el router inalámbrico, él mismo debe tomar la configuración correcta. Si se da a un cliente inalámbrico la configuración adecuada de '*essid*' y se le asigna una IP 192.168.32.1, debería poder hacer un **ping** al router inalámbrico (a cualquiera de las dos interfaces ya configuradas).

Por último, se debe configurar la interface *ath0* para tener acceso a todas los routers de la red WiLD de la ESPE, mediante un enrutamiento estático, porque el enrutamiento dinámico necesita de un driver adicional para el estándar 802.11n:

```
ip router add 20.20.20.0/24 via 10.10.10.1
```

```
ip router add 30.30.30.0/26 via 10.10.10.1
```

```
ip router add 40.40.40.0/26 via 10.10.10.1
```

```
ip router add 192.168.32.0/27 via 10.10.10.1
```

```
ip router add 192.188.58.0/24 via 10.10.10.1
```

Para configurar el resto de routers ver Tabla 4.17 en la página 113.

III. Configuración de la segunda interfaz inalámbrica

Configurar la interfaz '*ath1*' para ser cliente del punto de acceso del otro nodo. Para esta interfaz, tanto el nombre de la red como la IP se deben asignar de forma coherente con la configuración del nodo siguiente. Esta configuración de '*ath1*' es similar paso a paso a la de la interfaz '*ath0*', tomando en cuenta sí es router o repetidora.

IV. Configuración de las interfaces inalámbricas para larga distancia

En este punto primero se debe establecer la distancia entre el router en configuración y el router como punto de acceso para la interfaz cliente, para la red de WiLD ESPE se indica en la Tabla 4.12.

Buscar en el sistema de archivos de procesos (*procfilesystem*) los archivos virtuales llamados: '*acktimeout*', '*ctstimeout*' y '*slottime*'. Se puede usar el comando

'**find /proc name acktimeout**' y similares para encontrar donde están, los cuales existen para cada una de las interfaces inalámbricas. Esos archivos virtuales contienen el valor que en cada instante tienen los respectivos parámetros en esas interfaces. Para ver los valores, ir al directorio en que se encuentran y hacer '**cat acktimeout**' o similar. Calcular el valor que deberían tener esos parámetros en cada interfaz para las distancias escogidas.

En el caso de *acktimeout*, el significado real del parámetro para el hardware difiere un poco del parámetro establecido en el estándar, por lo que es preferible actualizarlo con un comando '**athctrl**' al que se le pasa la distancia en metros; por ejemplo, para la ESPE Sangolquí la distancia máxima de alcance de la antena omnidireccional conectada a la interface *ath0* es de 1 km, entonces el comando sería '**athctrl ath0 d 1000**'. En el caso de 'slottime' se puede asignar el valor con el comando '**echo valor > slottime**'.

En resumen, se utiliza los comandos *iwpriv* y *athctrl* para cambiar los parámetros mode y distancia, y para cambiar los parámetros *acktimeout*, *ctsttimeout* y SlotTime; se utiliza los comandos *cat* y *echo*. Por ejemplo, para configurar la interfaz *ath0* del router ESPE Sangolquí, se realiza como sigue:

```
# iwpriv ath0 mode 11n
# athctrl ath -d 1000
# echo 7 > slottime
# cat acktimeout 61
# cat ctsttimeout 341
```

Los valores utilizados para la configuración de *ath0* se obtienen de las Ecuaciones: 3.3, 3.4 y 3.5. Para las distancias máximas de alcance de las antenas omnidireccionales de las Sedes de la ESPE, se diseñó que ESPE Sangolquí y ESPE Latacunga tienen una distancia máxima de 1 km, y que IASA I y IASA II tienen máximo 500 m. Para el resto de routers ver en las Tablas 4.12 y 4.14.

Después de actualizar los parámetros, comprobar que su valor ha cambiado.

Tablas para configurar los routers de la red WiLD de la ESPE

Para configurar las interfaces de todos los routers de la red WiLD ESPE, se necesita: las distancias máximas de alcance de las antenas omnidireccionales de las Sedes; las Ecuaciones: 3.3, 3.4 y 3.5; las Tablas: 4.12 y 4.14; las IPs de las interfaces; y los puntos de acceso (**ssid**). En la Tabla 4.15 se indican las IPs de las interfaces de todos los routers, en la Tabla 4.16 se indican los puntos de acceso '**ssid**', y en la Tabla 4.17 se indica las redes que deben acceder las interfaces de todos los routers de la red WiLD ESPE.

Tabla 4.15. IPs de las interfaces de todos los routers de la red WiLD ESPE

Router	Interface ath0	Interface ath1	Interface eth0	Red
ESPE Sangolquí	10.10.10.1	192.168.32.1	192.168.32.15	10.10.10.0//24
ESPE Latacunga	20.20.20.1	192.168.32.2		20.20.20.0/26
IASA I	30.30.30.1	192.168.32.3		30.30.30.0/24
IASA II	40.40.40.1	192.168.32.4		40.40.40.0/56
Atacazo Router R1	192.168.32.5	192.168.32.6	192.168.32.13	192.168.32.0/27
Atacazo Router R2	192.168.32.7	192.168.32.8	192.168.32.14	192.168.32.0/27
Guango	192.168.32.9	192.168.32.10		192.168.32.0/27
Bombolí	192.168.32.11	192.168.32.12		192.168.32.0/27

Tabla 4.16. Puntos de acceso 'ssid' de las interfaces de todos los routers de la red WiLD ESPE

Router	Interface ath0	Interface ath1
ESPE Sangolquí	SANGOL	SANGOL_ATACAZO
ESPE Latacunga	LATA	LATA_GUANGO
IASA I	IASAI	IASAI_ATACAZO
IASA II	IASAII	IASAII_BOMBOLI
Atacazo Router R1	ATACAZO_SANGOL	ATACAZO_BOMBOLI
Atacazo Router R2	ATACAZO_GUANGO	ATACAZO_IASAI
Guango	GUANGO_LATA	GUANGO_ATACAZO
Bombolí	BOMBOLI_IASAI	BOMBOLI_ATACAZO

**Tabla 4.17. Redes que deben acceder las interfaces de todos los routers de la red
WiLD ESPE**

Router	Interface ath0	Interface ath1
ESPE Sangolquí	20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.168.32.0/27 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
ESPE Latacunga	10.10.10.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.168.32.0/27 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
IASA I	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 40.40.40.0/26 192.168.32.0/27 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
IASA II	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 192.168.32.0/27 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
Atacazo Router R1	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
Atacazo Router R2	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
Guango	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
Bombolí	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24
Router	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24	10.10.10.0/24 20.20.20.0/24 30.30.30.0/26 40.40.40.0/26 192.188.58.0/24

4.4.5. Montaje de los equipos en la torre

A continuación se detalla los equipos que deben ser montados en las torres:

1. Montaje de las antenas inalámbricas direccionales

Para establecer el enlace entre las antenas direccionales, debe existir línea de vista entre ellas, por lo que se recomienda el montaje de las antenas sean ubicadas en el último tramo de la torre. Cada antena se conecta con una interfaz de red inalámbrica de una tarjeta ALIX, la cual también debe montarse en la torre a pocos metros de las antenas, porque en microondas las pérdidas de señal en los cables coaxiales de conexión son muy elevadas.

2. Alineación de las antenas direccionales

La alineación de las antenas direccionales en un enlace de larga distancia, es uno de los principales objetivos, para lo cual se necesita inicialmente conocer el ángulo de elevación y el azimut, ver Tabla 4.18, y encontrar la mejor posición con la ayuda de instrumentos tales como brújulas o GPS. En este caso es una alineación Punto a Punto y se usaron antenas direccionales de rejilla para larga distancia HyperGain HG2424G.

Tabla 4.18. Azimut y ángulo de elevación de los nodos [48]

Nodo	Azimut	Ángulo de Elevación
Maestro	108.8°	40°
Esclavo	8,8°	17°

3. Montaje de las tarjetas ALIX

En cada estación base o repetidora, a continuación de las antenas direccionales, se instalan las Tarjetas ALIX al aire libre en cajas para exteriores, en este caso Case2c2, la cual cuenta con dos radios inalámbricas. En este proyecto se usa la tarjeta Mini-PCI de radio 802.11 a/b/g/n DNMA-92 porque trabaja con la tarjeta ALIX3d3. Esta tarjeta se recomienda instalar a una distancia menor a 2 metros por debajo de las antenas, de tal manera al realizar el mantenimiento periódico no se tenga problemas para desplazarse a través de la torre, y por las pérdidas que se pueden generar en el cable.

4. Montaje de las antenas inalámbricas omnidireccionales

Este montaje será en las cuatro Sedes de la ESPE, en las mismas torres de las antenas direccionales, compartiendo las Tarjetas ALIX una entrada de radio que sobra en cada tarjeta. El montaje de las antenas se recomienda en la cima de torres.

La ubicación y radiación de las antenas omnidireccionales en las Sedes de la ESPE, se detallará en el siguiente subtema.

5. Conexión del cable coaxial

La longitud del cable coaxial debe ser el más corto posible, porque cuanto más largo sea el cable coaxial mayor será la pérdida de señal, debido a que por cada metro de cable existe 0.1 dB de pérdida. El cable coaxial irá conectado desde la antena hasta las tarjetas utilizadas.

6. Energizar los equipos

Para energizar los equipos en las repetidoras se debe utilizar la conexión *POE* (Power Over Ethernet) a través de cable Ethernet o POE, en este caso POE1a2, que utiliza los pares de cable de red sin usar 100BaseT para transmitir energía a un dispositivo remoto, para de esta manera llegar a una altura aproximada de 20 metros que se encuentran las antenas. Y para energizar los equipos de las estaciones base se utiliza el sistema de alimentación de energía eléctrica con corriente alterna de 110 voltios, mediante el adaptador de corriente alterna con voltaje de entrada 100-240 V AC, 47-63 Hz y tensión de salida de 18 V DC, 1,2 A de corriente máxima.

En la Figura 4.22 se indica la ubicación de los equipos que se instalan en la torre.



Figura 4.22. Equipos instalados en la torre [48]

4.4.6. Ubicación y radiación de las antenas omnidireccionales en las Sedes de la ESPE

Por último, se debe conocer la radiación de las antenas omnidireccionales para dar servicio de Internet inalámbrico a las Sedes de la ESPE, considerando que las distancias máximas de alcance de las antenas omnidireccionales en las Sedes son: para ESPE Sangolquí y ESPE Latacunga una distancia máxima de 1 km de radio, y IASA I y IASA II tienen máximo 500 m de radio.

Los parámetros establecidos para la configuración de la radiación de las antenas omnidireccionales en cada una de las Sedes de la ESPE: Sangolquí, Latacunga, IASA I y IASA II, para dar servicio de Internet inalámbrico, están especificados en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19. Parámetros de las antenas omnidireccionales

PARÁMETRO	VALOR
Potencia de transmisión	0,08 Watt o 19 dBm
Umbral de recepción	22,3872 μ V o -80 dBm
Pérdidas totales	0,5 dB
Tipo de antena	Omnidireccional HyperGain HG2408U
Ganancia de la antena	8 dBi o 5,85 dBd
Altura de la antena sobre el piso	25 m

Nota: *El diseño de la red WiFi de cada Sede de la ESPE no se va a realizar, porque no está previsto en el presente proyecto. Pero en dicho diseño se debe tener en cuenta la densidad de usuarios por Sedes, número de usuarios por Km², el número de Acces Point, entre otros.*

Las Figuras 4.23 y 4.24 indican la ubicación y radiación de la antena omnidireccional para dar servicio de Internet inalámbrico a la Sede ESPE Sangolquí.

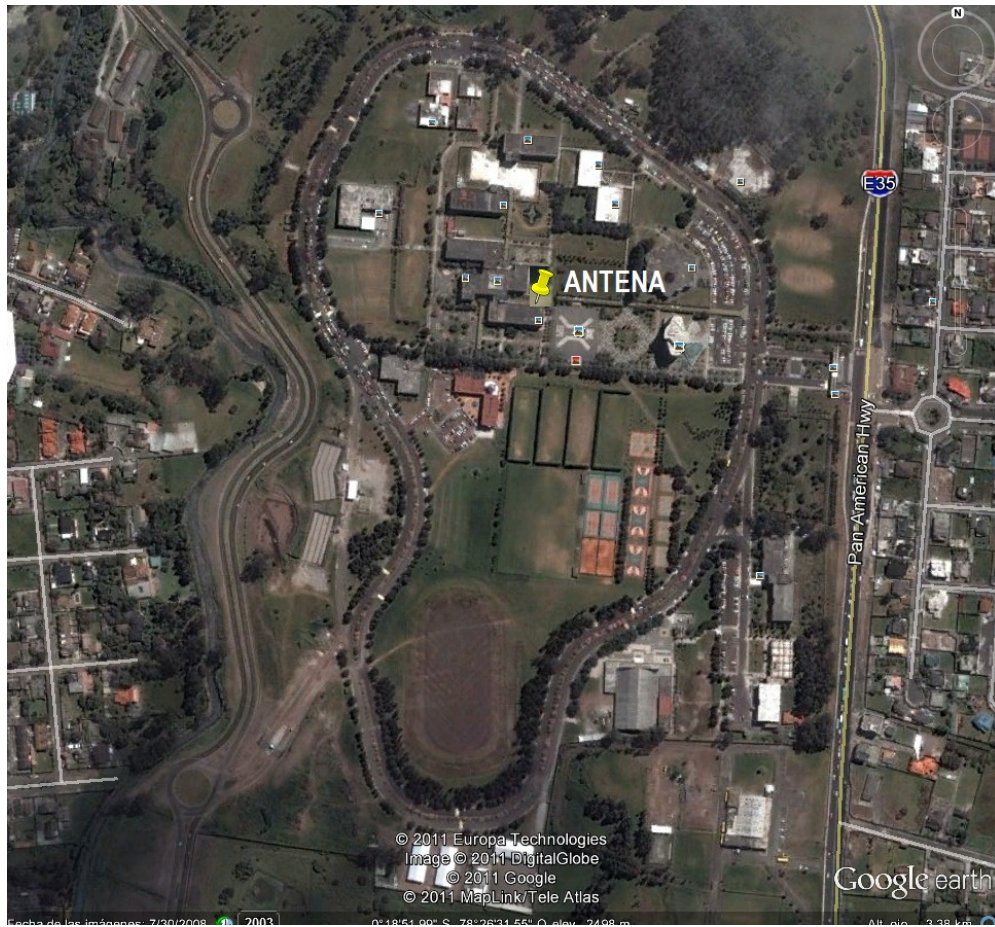


Figura 4.23. Vista general de la ESPE Sangolquí

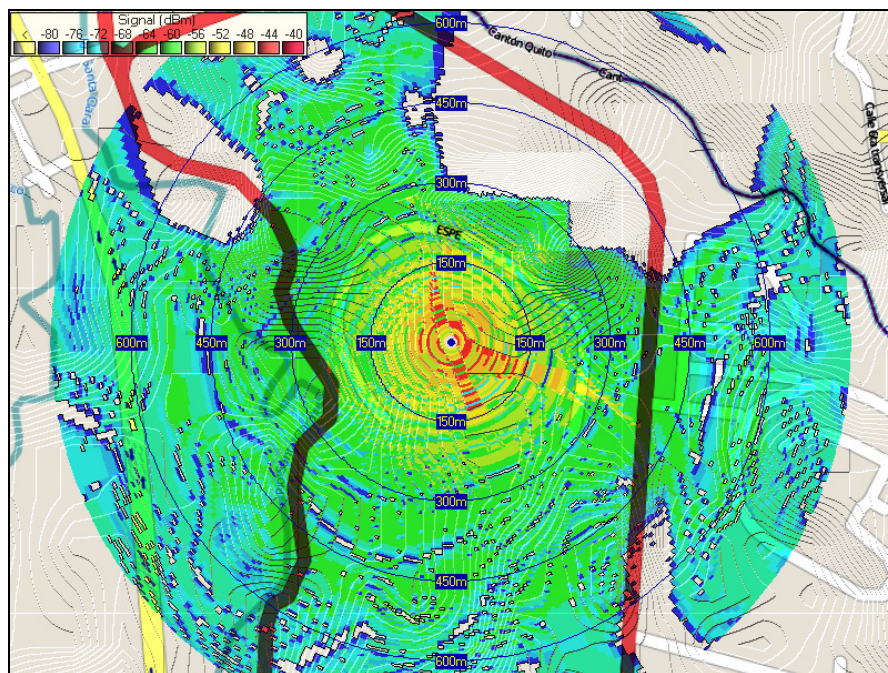


Figura 4.24. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE Sangolquí

Las Figura 4.25 y 4.26 indican la ubicación y radiación de la antena omnidireccional para dar servicio de Internet inalámbrico a la Sede Latacunga.



Figura 4.25. Vista general de la ESPE Latacunga

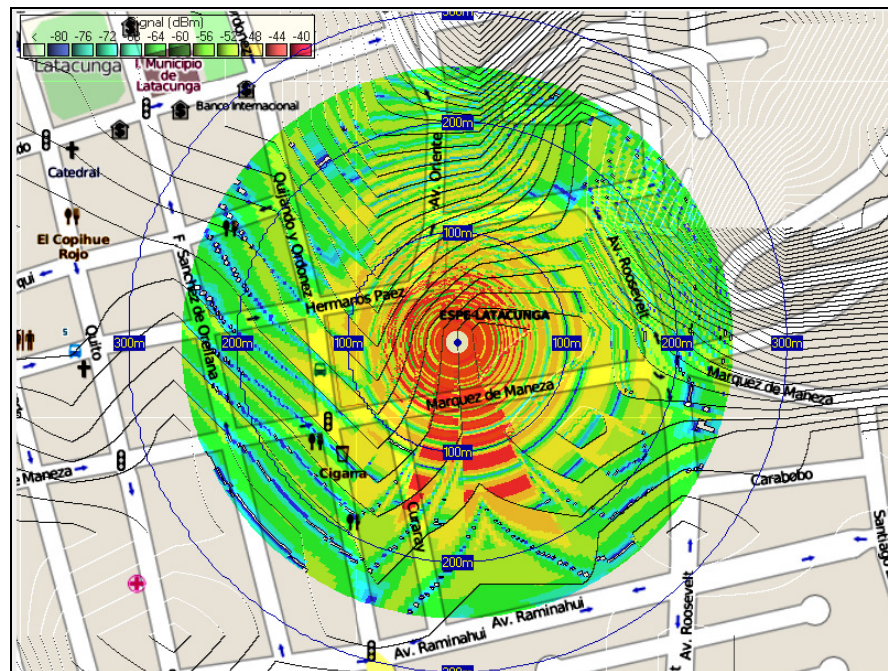


Figura 4.26. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE Latacunga

Las Figuras 4.27 y 4.28 indican la ubicación radiación de la antena omnidireccional para dar servicio de Internet inalámbrico a la Sede ESPE IASA I.



Figura 4.27. Vista general de la ESPE IASA I

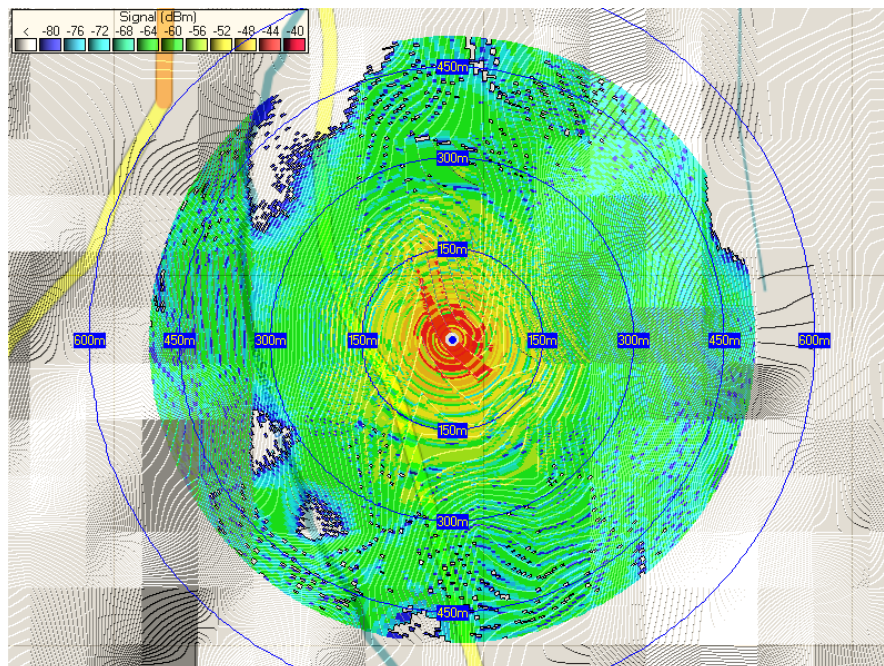


Figura 4.28. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE IASA I

Las Figuras 4.29 y 4.30 indican la ubicación y radiación de la antena omnidireccional para dar servicio de Internet inalámbrico a la Sede ESPE IASA II.



Figura 4.29. Vista general de la ESPE IASA II

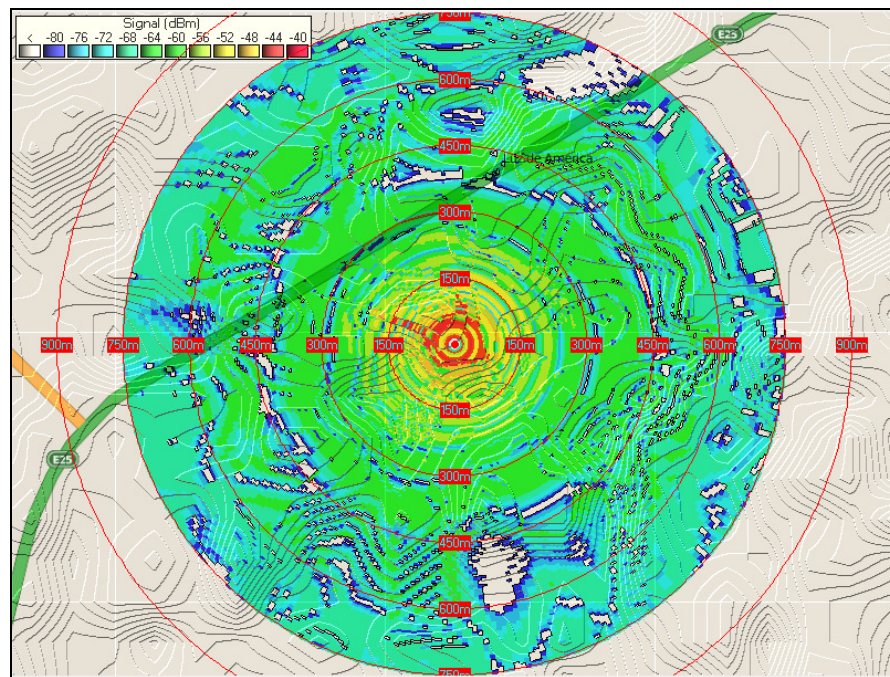


Figura 4.30. Radiación de la antena omnidireccional en ESPE IASA II

4.4.7. Equipamiento para la Red Inalámbrica de Larga Distancia

Es necesario en señalar la clase de características y atributos que son deseables en los componentes inalámbricos, en base a diseños anteriores que han funcionado de manera correcta, porque en este proyecto se va a utilizar la misma tecnología inalámbrica de corta distancia.

El cableado de un nodo inalámbrico está conformado por varios componentes que deben estar conectados entre sí con el cableado apropiado, en el cual se necesita al menos una computadora conectada a una red Ethernet, un enrutador inalámbrico, o un puente en la misma red. Los componentes de radio deben conectarse a las antenas, pero en el trayecto pueden requerir un amplificador, un para rayos (es un dispositivo de tres terminales, uno conectado a la antena, el otro al radio y el tercero a tierra), u otro dispositivo. Muchos de éstos componentes requieren energía, ya sea a través de otro cable AC, o utilizando un transformador DC. Todos estos componentes utilizan varias clases de conectores, sin mencionar una amplia variedad de tipos de cable de diferentes calibres. Por último, se debe multiplicar estos cables y conectores por el número de nodos que se van a instalar [7].

Aunque los componentes utilizados para la conexión varían de nodo a nodo, toda la instalación va incorporar estas partes [7]:

1. Una red conectada a un conmutador (switch) Ethernet.
2. Un dispositivo que conecte esa red a un dispositivo inalámbrico (un enrutador inalámbrico, un puente o un repetidor).
3. Una antena, integrada en el dispositivo inalámbrico, o conectada mediante un cable apropiado.
4. Componentes eléctricos constituidos por fuentes de alimentación, acondicionadores de energía, y protectores contra rayos.

En la elección de los componentes inalámbricos el tema del precio es el factor que generalmente recibe la mayor atención, pero la alta tecnología no debe ser considerado como una verdad absoluta, por lo tanto para hacer una elección debe determinarse las exigencias del proyecto, el presupuesto disponible, y verificando que el proyecto sea viable

utilizando los recursos disponibles; incluyendo provisiones para repuestos y costos de mantenimiento. Además, asegúrese de considerar las siguientes variables [7]:

- **Interoperabilidad.** El equipo debe aceptar un protocolo abierto (como el 802.11b/g/n), entonces probablemente va a funcionar con equipamiento de otras fuentes.
- **Rango.** El alcance de un dispositivo depende de la potencia y la antena conectada a él, el terreno que lo rodea, y las características del dispositivo en el otro extremo del enlace, además de otros factores. Por lo que es más útil conocer la potencia de transmisión del radio así como la ganancia de la antena (si está incluida la antena), y con esta información se puede calcular el alcance teórico.
- **Sensibilidad del radio.** El fabricante debe proveer la información: ¿Cuán sensible es el dispositivo de radio a una tasa de transferencia dada?, al menos a las velocidades más rápidas y más lentas. Esto puede utilizarse como una medida de la calidad del equipo, y le permite completar el cálculo del presupuesto del enlace, considerando mientras más bajo sea este valor mejor será la sensibilidad del radio.
- **Caudal neto (throughput).** El valor de la tasa de transferencia del radio (ej. 54 Mbps para 802.11g) nunca es el verdadero caudal neto del dispositivo (ej. aproximadamente es 22 Mbps). Si la información del caudal neto no está disponible para el dispositivo a evaluarse, un buen truco es dividir la velocidad del dispositivo entre dos, y restar el 20%. Si hay alguna duda, realizar la prueba de caudal neto en una unidad de evaluación antes de adquirir el equipamiento que no especifica una tasa oficial de caudal neto.
- **Accesorios requeridos.** Verificar si viene con todos los accesorios que se requieren para un uso normal, como los pigtails, adaptadores, cables, antenas, adaptadores de energía, los inyectores de potencia para Ethernet (POE), y las tarjetas de radio. Y si van a ser usados en exteriores debe incluir el dispositivo una caja impermeable. Además, revisar los voltajes de entrada, ya que el equipo normalmente viene con especificaciones de alimentación correspondiente a los estándares utilizados en los Estados Unidos.
- **Disponibilidad.** Determinar el lapso de vida del proyectado de un producto en particular, en términos de tiempo de funcionamiento en el campo y probabilidad de que el vendedor lo siga suministrando.

- **Otros factores.** Asegurarse de que se provean otras características importantes para satisfacer las necesidades particulares. Por ejemplo:
 - ✓ Incluye conector para una antena externa, sí es así establecer el tipo
 - ✓ Existen limitaciones en número de usuarios o en el rendimiento impuestas por software, y si las hay determinar el costo de extender esos límites
 - ✓ Conocer la forma física del dispositivo y la potencia de consumo del dispositivo
 - ✓ Soporta POE como fuente de potencia
 - ✓ Provee encriptación, NAT, herramientas de monitoreo de ancho de banda, u otras características críticas para el diseño de la red

Con todas consideraciones anteriormente indicadas, se determina en la Tabla 4.20 los componentes que son necesarios para la red inalámbrica de la larga distancia ESPE.

Tabla 4.20. Componentes de la red inalámbrica de la ESPE para larga distancia

Ord.	Cantidad	Componente	Costo Unitario USD	Costo Total USD
1	8	Tarjetas ALIX3d3	140,00	1120,00
2	8	Cajas case2c2	57,00	456,00
3	16	Conectores pignf	3,50	56,00
4	16	Conectores de antena antnm	6,95	111,20
5	2	Cable Patch cort	3,00	6,00
6	4	Adaptadores POE1a2	22,00	88,00
7	4	Adaptador de corriente alterna ac18veur	10,00	40,00
8	8	Tarjeta CompactFlash cf8slc	26,89	215,12
9	16	Tarjeta Mini-PCI de radio 802.11 a/b/g/n DNMA-92	60,00	960,00
10	12	Antenas direccionales para larga distancia HyperGain HG2424G	62,00	744,00
11	4	Antenas omnidireccionales de corta distancia HyperGain HG2408U	99,00	396,00
TOTAL				4192,32

A continuación se van a describir cada uno de los componentes necesarios para la instalación de una conexión inalámbrica de larga distancia:

1. Tarjeta ALIX3d3

Se escoge la tarjeta ALIX3d3 porque se la va a usar en el exterior y posee VGA y Audio. Las Especificaciones técnicas están indicadas en “Anexo A1”. En la Figura 4.31 se indica la tarjeta ALIX3d3.

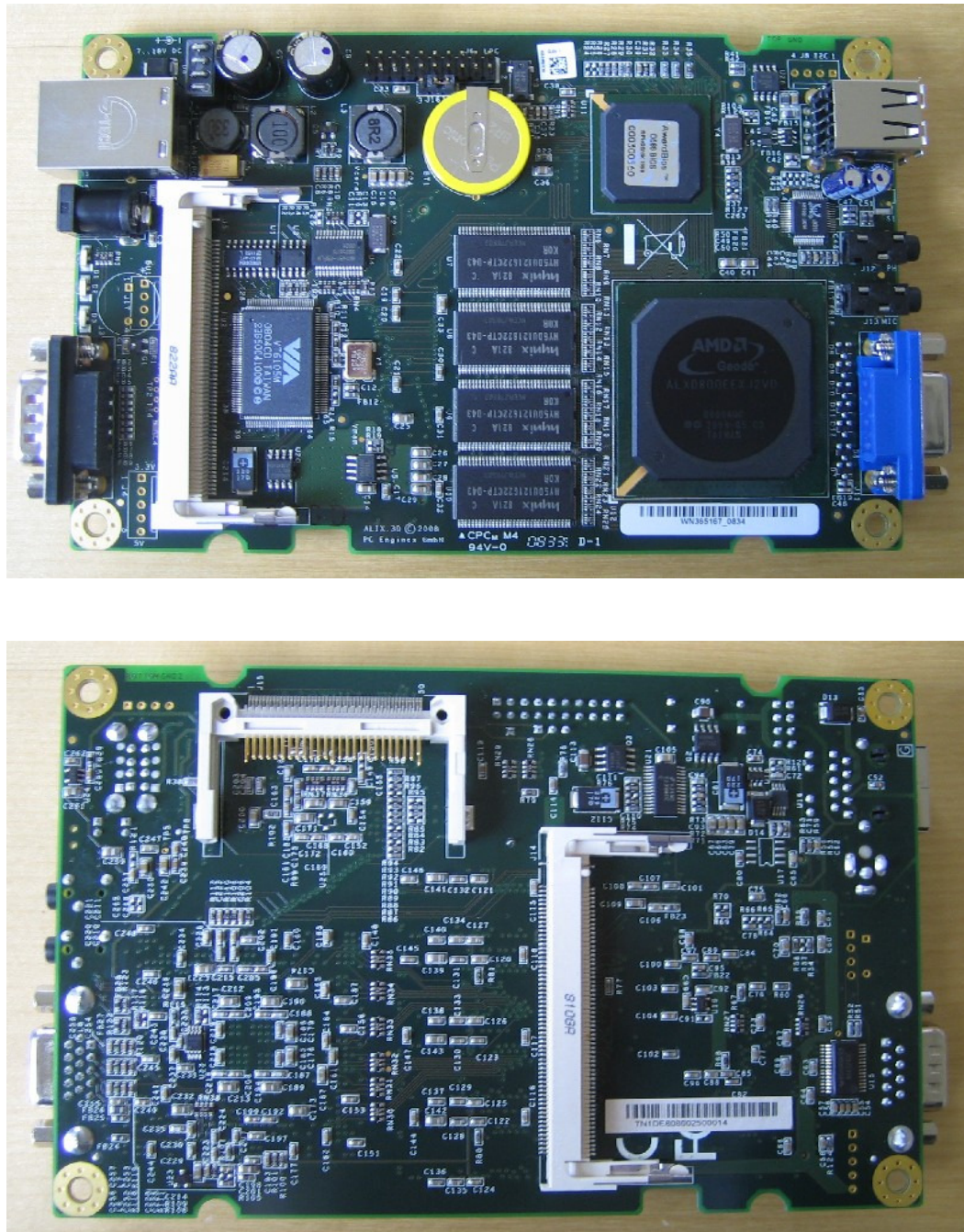


Figura 4.31. ALIX3d3

2. Caja case2c2

Se instala al aire libre e está diseñada para tarjetas WRAP.2 */* ALIX.3, se indica en la Figura 4.32.



Figura 4.32. case2c2

3. Conector pignf

Conector hembra N, 18 cm de cable, compatible con RoHS, se indica en la Figura 4.33.



Figura 4.33. pignf

4. Conectores de antena antnm

Conector de antena para la banda de 2,4 GHz, 5 dBi de ganancia nominal. Conector macho N, se indica en la Figura 4.34.



Figura 4.34. antnm

5. Cable Patch Cort

Cable Patch cort se utiliza para conectar a Internet en la Sede de la ESPE Sangolquí y para conectar las dos tarjetas ALIX en la repetidora del volcán Atacazo. Se indica en la Figura 4.35.



Figura 4.35. Cable Patch cort

6. Adaptadores POE1a2

Adaptador Passive POE (Power Over Ethernet), utiliza los pares de cable de red sin usar 100BaseT para transmitir energía a un dispositivo remoto. Se indica en la Figura 4.36.



Figura 4.36. POE1a2

7. Adaptador de corriente alterna ac18veur

Adaptador de corriente alterna, ahorra espacio en el toma corriente. De voltaje de entrada 100-240 VAC, 47-63 Hz, y la tensión de salida de 18 VDC, 1,2 A de corriente máxima. De alta eficiencia. Jack de 2,1 mm, positivo en el centro. Se indica en la Figura 4.37.



Figura 4.37. ac18veur

8. Tarjeta CompactFlash cf8slc

Tarjeta CompactFlash de 8 GB, SMI 2232 controlador SLC flash, soporta UDMA. Se indica en la Figura 4.38.



Figura 4.38. cf8slc

9. Tarjeta Mini-PCI de radio 802.11 a/b/g/n DNMA-92

Se escoge la tarjeta Mini-PCI de radio 802.11 a/b/g/n DNMA-92 porque trabaja con la tarjeta ALIX3d3. Las características están indicadas en el subtema 4.2. En la Figura 4.39 se indica la tarjeta Mini-PCI de radio 802.11 a/b/g/n DNMA-92.



Figura 4.39. DNMA-92

10. Antenas direccionales para larga distancia HyperGain HG2424G

Se escoge las antenas direccionales para larga distancia HyperGain HG2424G. Las características están indicadas en el subtema 4.1. En la Figura 4.40 se indica la antena HyperGain HG2424G.



Figura 4.40. HyperGain HG2424G

11. Antenas omnidireccionales de corta distancia HyperGain HG2408U

Se escoge la antena omnidireccional de corta distancia Antena HyperGain HG2408U. Las características están indicadas en el subtema 4.1. El sistema de montaje consta de una abrazadera como se indica En la Figura 4.41.



Figura 4.41. HyperGain HG2408U

Capítulo 5

Análisis de la red ESPE WiLD a nivel de MAC

5.1. Características de la red en QoS

La configuración de la red inalámbrica WiLD mediante tecnología WiFi de corta distancia puede hacer peligrar los parámetros de QoS como el throughput, delay y jitter, que son un importante requerimiento para fuentes con necesidades de alta velocidad como las aplicaciones de tiempo real. Entonces una de las principales características de WiLD debería ser su capacidad para garantizar la QoS a diversos tipos de aplicaciones en tiempo real. Entonces para las aplicaciones de este tipo deben garantizarse, entre otros parámetros de tráfico, throughput, delay, jitter y paquetes perdidos; máximos negociados en el establecimiento de la conexión. Sin embargo, las aplicaciones pensadas para la transmisión de datos no tienen excesivos requerimientos de delay, pero sí en lo referente a fuentes de tráfico con respecto a otras aplicaciones que puedan consumir excesivos recursos.

1. Instalación del software

El software que se utiliza para analizar la QoS de la red WiLD ESPE es ns2, **ns-allinone-2.34**, el mismo que se debe instalar de acuerdo al Anexo B. Este software no tiene la capacidad de realizar simulaciones de redes inalámbricas de larga distancia, por lo que se debe añadir un parche llamado TeNs [59], que a continuación se indica las instrucciones para la instalación de este parche:

- Primero se debe tener instalado ns2, **ns-allinone-2.34**. De preferencia se recomienda la versión ns2 ns-allinone-2.1b9a-gcc32 compatible con gcc32.

- Descargar el parche TeNs de la dirección Web: <http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>.
- Luego, seguir los siguientes pasos:
 - Descomprimir el parche TeNs en el directorio `.../ns-allinone-2.34/ns-2.34`. En el interior del directorio de TeNs, ejecutar el script `copy.sh` (`sudo ./copy.sh`) para copiar los archivos relevantes en el directorio ns2. Si el directorio de TeNs no está en el directorio `.../ns-allinone-2.34/ns-2.34`, cambiar `$NS_DIR` (en `copy.sh`) para apuntar al directorio `.../ns-allinone-2.34/ns-2.34`.
 - Después de ejecutar el script `copy.sh`, ir al directorio `.../ns-allinone-2.34/ns-2.34` y hacer los siguientes cambios en el **Makefile**:
 - ✓ En primer lugar controlar el **Makefile** y reemplazar cualquier camino ajeno existente en él, con lo que se cree debería ser para la instalación. Esto puede no ser necesario si la instalación de ns2 ha creado correctamente el **Makefile**.
 - ✓ Cambiar la variable del CPP en el **Makefile** para `"CPP=g++"`
 - ✓ Cambiar la variable NSE en el **Makefile** a `"NSE=nse"`
 - ✓ Construir la variable **BUILD_NSE** vacía, es decir, `"BUILD_NSE="`
 - ✓ Buscar la línea que contiene `"mobile/antenna.o mobile/omni-antenna.o\"` y sustituirla por `"mobile/antenna.o mobile/omni-antenna.o mobile/dir-antenna.o\"`
 - ✓ Buscar las líneas `"aodv/aodv_logs.o aodv/aodv.o\ aodv/aodv_rtable.o aodv/aodv_rqueue.o\"` y añadir las líneas `"wlstatic/wlstatic_logs.o wlstatic/wlstatic.o\ wlstatic/wlstatic_rtable.o wlstatic/wlstatic_rqueue.o\"` antes de ella.
 - ✓ Buscar la línea `"mac/phy.o mac/wired-phy.o mac/wireless-phy.o\"` y añadir `"mac/wp2p-ll.o mac/wp2p-mac.o mac/wp2p-phy.o \"` después de ella.
 - ✓ Buscar la declaración **NS_TCL_LIB** y añadir `"tcl/lib/ns-stdma-lib.tcl\tcl/lib/ns-stdma-link.tcl\"` a ella.
- Ahora, hacer **"make clean"** y **"make depend"**
- Entonces ejecutar **make** y ya está listo. Al final exportar una variable de entorno adicional **"NS_ANTENNA_FILE"** con su valor que debe ser el path donde está el archivo que almacena la radiación de la antena:

```
$ export NS_ANTENNA_FILE=.../ns-allinone-2.34/ns-2.34/mobile/antenna.txt
```

2. Creación y ejecución del script Tcl

Para la simulación en el software ns2 se debe ejecutar un editor de texto como *gedit* de Linux, donde se describen las instrucciones a ser realizadas, luego almacenar este archivo con la extensión *.tcl*. Estas instrucciones se deben realizar de acuerdo a las siguientes acciones:

1. Definir las variables que luego se usan en la configuración de los nodos que identifican los elementos físicos a simular.
2. Definir las características de la antena que se quiere añadir a cada nodo.
3. Crear una red Ad-hoc 802.11g y añadir información de capa física mediante parámetros, que son absolutamente necesarios para poder obtener la simulación de la tecnología 802.11g, puesto que se manipulan los datos de la capa MAC, así como los datos de potencia y de ancho de banda.
4. Crear los canales de comunicación.
5. Crear una instancia del simulador e indicar al simulador dónde tiene que guardar los eventos de traza y del NAM.
6. Crear un objeto GOD (create-god), que va a simular todos los eventos.
7. Definir, configurar y crear los nodos.
8. Inicializar las coordenadas de los nodos.
9. Configurar los parámetros para larga distancia.
10. Generar tráfico entre nodos para ver cómo se comporta en el escenario. Para lo cual se generan agentes, que son objetos encargados de generar tráfico de un nodo a otro. Para ello, se crea el agente y se "adosa" a un nodo mientras que se crea otro agente y lo "adosa" al destino. Finalmente se conectan los dos agentes para indicarles que el tráfico que genera uno va a ir destinado al segundo.
11. Crear el procedimiento "record" para obtener las estadísticas: throughput, delay y paquetes perdidos.
12. Iniciar y parar el procedimiento "record"
13. Adicionar un procedimiento "stop", en el cual se cierre el archivo de traza y se ejecuta NAM.
14. A continuación decir al objeto simulador que ejecute el procedimiento "stop", que será después de un tiempo de simulación.
15. Inicializar los nodos al ejecutarse el procedimiento "stop"
16. Por último, para ejecutar el programa y comience la simulación, se realiza mediante la ejecución del software ns2: \$ ns (.tcl) enter.

En la Figura 5.1 se indica la topología de la red WiLD de la ESPE a simular, donde se muestran las Sedes de la ESPE y las repetidoras que permiten la interconexión de las mismas. Para la simulación se lo realizará con dos nodos en cada enlace, empleando la herramienta visual NAM (*Network Animator*), que es el entorno gráfico para ns-2.

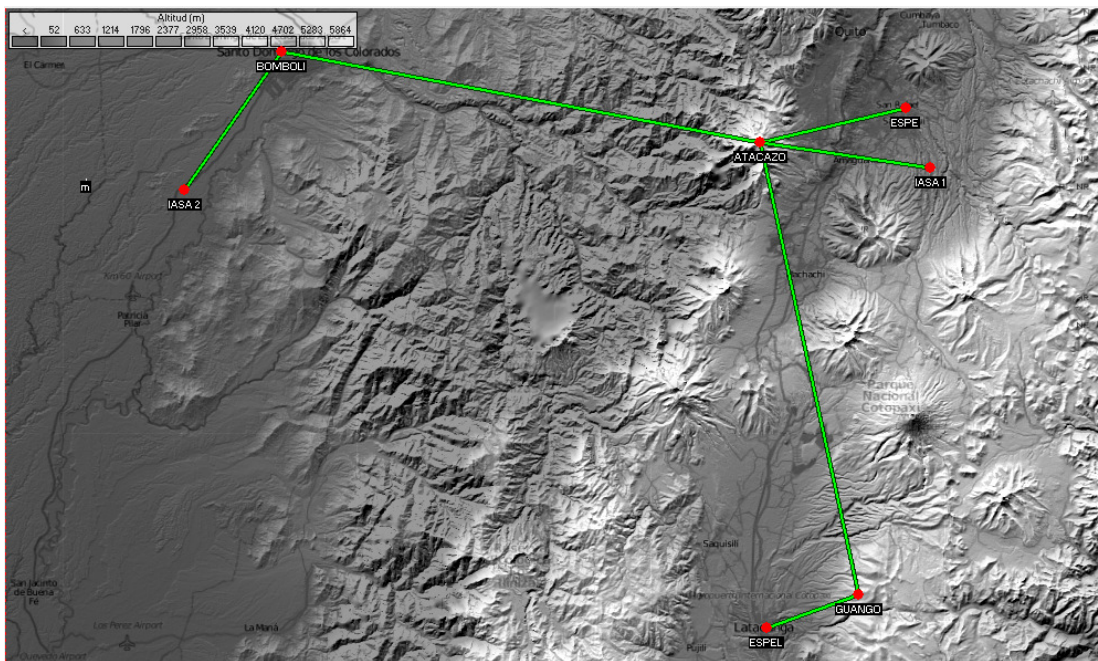


Figura 5.1. Topología la red WiLD de la ESPE

En la Tabla 5.1 se indica la ubicación de las estaciones base y repetidoras con las coordenadas geográficas y coordenadas X e Y necesarias para la simulación en ns2. Las coordenadas X e Y se obtienen del software Radio Mobile.

Tabla 5.1. Coordenadas geográficas y coordenadas X e Y

Estación	Coordenadas Geográficas		Coordenadas X e Y	
	Latitud	Longitud	X	Y
ESPE Sangolquí	00°18'50.47"S	78°26'43.04"O	815	509
ESPE Latacunga	00°56'9.34"S	78°36'42.66"O	688	39
ESPE IASA I	00°23'07.66"S	78°24'55.38"O	836	456
ESPE IASA II	00°24'44"S	79°18'32"O	162	434
Atacazo	00°21'20.78"S	78°37'10.61"O	683	478
Guango	00°53'45"S	78°30'6"O	771	70
Bombolí	00°14'48"S	79°11'33"O	249	560

3. Consideraciones de los parámetros para la simulación

Para determinar los parámetros throughput, delay, jitter y paquetes perdidos; en los diferentes enlaces, se utiliza el software ns2, con los datos de las tablas 4.12, 4.13 y 4.14, y la información de la Tabla 5.2; la cual indica los parámetros de transmisión que se configuran para la simulación de los enlaces.

Tabla 5.2. Parámetros de transmisión que se configuran para la simulación de los enlaces

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA
Potencia de transmisión	24dBi
Ganancia de la antena	24dBi
Protocolo de transmisión	UDP
Tipo de canal	Wireless Channel
Modelo de propagación	Shadowing
Tipo de interfaz de red	Wireless Phy
Tipo de MAC	802.11g
Velocidad Tx del canal	11 Mbps
Modelo de antena	Omnidireccional
Máximo de paquetes en IFQ	1500
Tamaño del paquete	512 bytes
Número de nodos	2
Protocolo de enrutamiento	AODV
Frecuencia	2.437 GHz
Velocidad de transmisión ESPE	4 Mbps

También se debe tener en cuenta las siguientes características:

- En ns2 no se puede simular en del estándar 802.11n, por lo que se trabaja a una velocidad de 54Mbps del estándar 802.11g, con una velocidad del canal de 11 Mbps, y 1500 paquetes enviados a intervalos de 0,9 s; debido a que esto facilita la velocidad de procesamiento en ns2 y así obtener los datos más rápidamente y con mayor eficiencia.
- Según la topología de red de esta aplicación se utiliza antenas direccionales, pero en el software solo se configura con antenas omnidireccionales, con el modelo de propagación de Shadowing [46], a una potencia de Tx de 0.480 watos y 0.480 watos de Rx, un protocolo de enrutamiento AODV, y un número de 2 nodos: porque la simulación se realiza de 2 nodos a la vez, ya que se hace cambiando los parámetros de la capa MAC para cada enlace de la red.
- Se utiliza en todas las enlaces el tráfico UDP, para mejorar el desempeño de la red.

- La posición de los nodos se ubican de acuerdo a la topología establecida en la Tabla 5.1 en coordenadas X e Y, tomando en cuenta que se manejan unidades adimensionales dentro del programa ns2.
- Los archivos *.tr* contienen datos que permiten obtener información de los paquetes perdidos, descartados, y además del tiempo de retardo, tipo y tamaño del paquete; nodo fuente y nodo destino.
- La toma de datos se realiza en un tiempo de muestreo de de 0,9 seg, para obtener resultados verdaderos de la simulación, en un rango de tiempo de simulación entre 1.4 y 80 seg.

4. Instrucciones para configurar los parámetros para la simulación

Las instrucciones más importantes para configurar los parámetros de los enlaces inalámbricos de la red WiLD de la ESPE, se indican a continuación con su respectiva explicación:

1. set val(chan) Channel/WirelessChannel. **Tipo de Canal.** El canal que se utiliza es el inalámbrico, porque los enlaces de las redes WiFi a largas distancias son redes inalámbricas.
2. set val(prop) Propagation/Shadowing. **Modelo de Propagación.** El modelo Shadowing se acerca más al caso real, el cual intenta simular los desvanecimientos provocados por obstáculos y por la propagación multicamino que se tiene en recepción.
3. set val(netif) Phy/WirelessPhy. **Tipo de Interfaz de Red.** La interfaz que se utiliza en esta simulación es la interfaz inalámbrica, que simula los puertos físicos de la interfaz inalámbrica.
4. set val(mac) Mac/802.11. **Tipo de MAC.** El acceso al medio es por medio de la sub capa MAC, que se encuentra descrita en las especificaciones del estándar 802.11b/g.
5. set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue. **Tipo de Cola de la Interfaz.** Este tipo de cadencia de cola es para transmisiones en tiempo real, por lo general realiza retransmisiones en el caso de tráfico TCP y caen paquetes en el caso de UDP.
6. set val(ll) LL. **link layer type.** Especifica el tipo de capa de enlace que utilizan los nodos al conectarse mediante este estándar.

7. set val(ant) Antenna/OmniAntenna. **Modelo de Antena**. Especifica el modelo de antena que se utiliza para la simulación de los enlaces, configurando los valores con los cuales esta antena va a funcionar.
8. set val(ifqlen) 1500. **Tamaño Máximo de INF**. Es el tamaño máximo de la trama a transmitir, la cual en este caso se pone una media de 1500 paquetes, para que de esta forma no se sature y sea más real.
9. set val(nn) 2. **Número de Nodos**. Número de nodos que serán enlazados en la simulación de la red.
10. set val(rp) AODV. **Protocolo de Enrutamiento**. Protocolo de Enrutamiento “Vector Distancia Bajo Demanda AdHoc”, siendo enlaces punto a punto con antenas en modo AdHoc.

Además, para el seteo de los parámetros en la simulación de redes inalámbricas WiFi de largas distancias, punto a punto, se utiliza el software de simulación ns2 en el estándar 802.11b/g, con un parche llamado TeNs, desarrollado por un grupo del Instituto Tecnológico de Kampur en India, que corrige las deficiencias para realizar cambios de los parámetros de la capa MAC, entre otras características los parámetros para obtener enlaces WiFi de larga distancia, como *ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*, que necesitan ser función del delay de propagación. A continuación se especifica los cambios que se deben realizar para obtener un enlace de larga distancia punto a punto:

1. El ACKTimeout

Se hace las siguientes modificaciones: los valores de *DSSS_AirPropagationTime* y *DSSS_AirPropagationConst* deben ajustarse desde TCL, de la siguiente forma:

- **Para el uso en interiores (caso habitual)**. Toman los valores preestablecidos, a menos que cambie en el TCL.
- **Para uso en exteriores (larga distancia)**. En cada interfaz se debe hacer lo siguiente:
 - *DSSS_AirPropagationTime*. Establecer en TCL cuando la propagación sea de ida, y
 - *DSSS_AirPropagationConst*. Asignar el valor 2 (o 1 con antena direccional).

Entonces, el valor de *ACKTimeout* corresponde al valor del parámetro *DSSS_AirPropagationTime*, acorde a la distancia que tiene el enlace punto a punto.

2. El *CTSTimeout*

De acuerdo a la Ecuación 3.4, *ACKTimeout* y *CTSTimeout* son iguales y están en función de *DSSS_AirPropagation*, por lo tanto el valor de *CTSTimeout* corresponde al parámetro *DSSS_AirPropagationTime* indicado para *ACKTimeout*.

3. El *SlotTime*

El *SlotTime* es establecido en cada enlace desde TCL, porque tiene que estar en función de *DSSS_AirPropagation*. Lo que se debe tener en cuenta que *SlotTime* también tiene que ser cambiado como *SlotTimes* que se sincronizan de forma local.

Esto hace que tanto *ACKTimeout* y *SlotTime* sea una función del retardo de ida y vuelta.

Por último, el programa desarrollado en ns2 (.tcl) para simular el análisis de QoS de la red WiLD de la ESPE, se detalla en el Anexo C.

5.1.1. Throughput. Tasa real de transmisión

Se llama throughput a la cantidad de datos que son transmitidos hacia o desde algún punto de la red, o también al volumen de información que fluye en las redes de datos, que es significativo en almacenamiento de información y sistemas de recuperación de información, en los cuales el rendimiento es medido en unidades como accesos en tiempo. Con este parámetro se puede ver el rendimiento final de una conexión.

La Figura 5.2 indica el Throughput enlace *ESPE Sangolquí – Atacazo*.

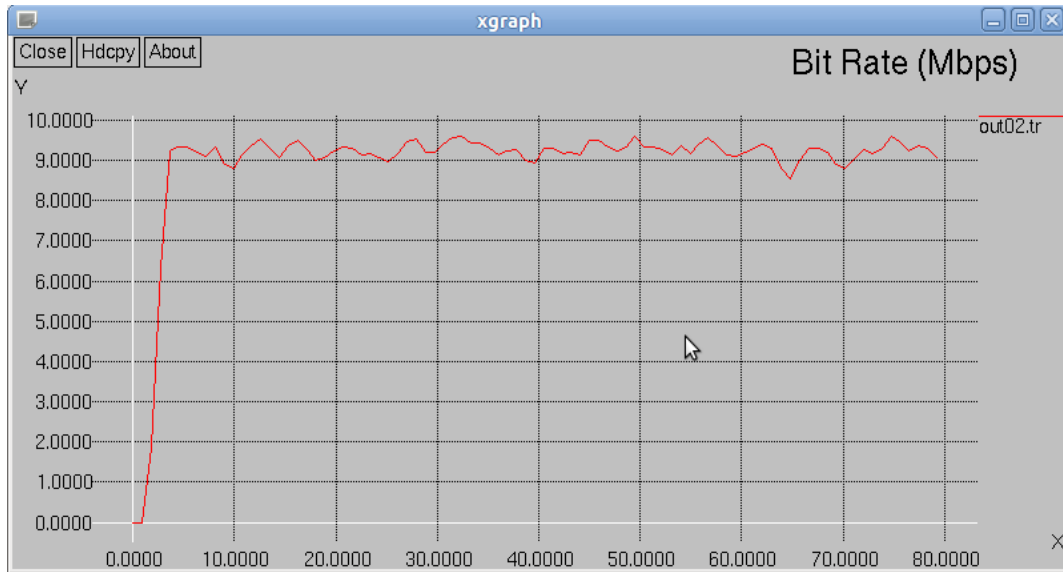


Figura 5.2. Throughput enlace ESPE Sangolquí – Atacazo

La Figura 5.3 indica el Throughput enlace *ESPE IASA I – Atacazo*.

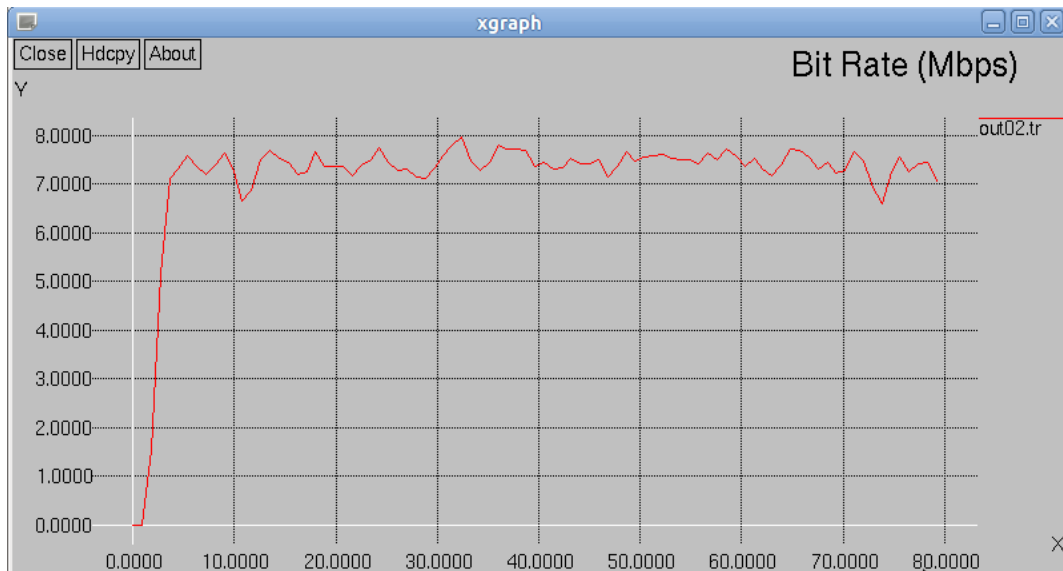


Figura 5.3. Throughput enlace ESPE IASA I – Atacazo

La Figura 5.4 indica el Throughput enlace *ESPE Atacazo - Guango*.

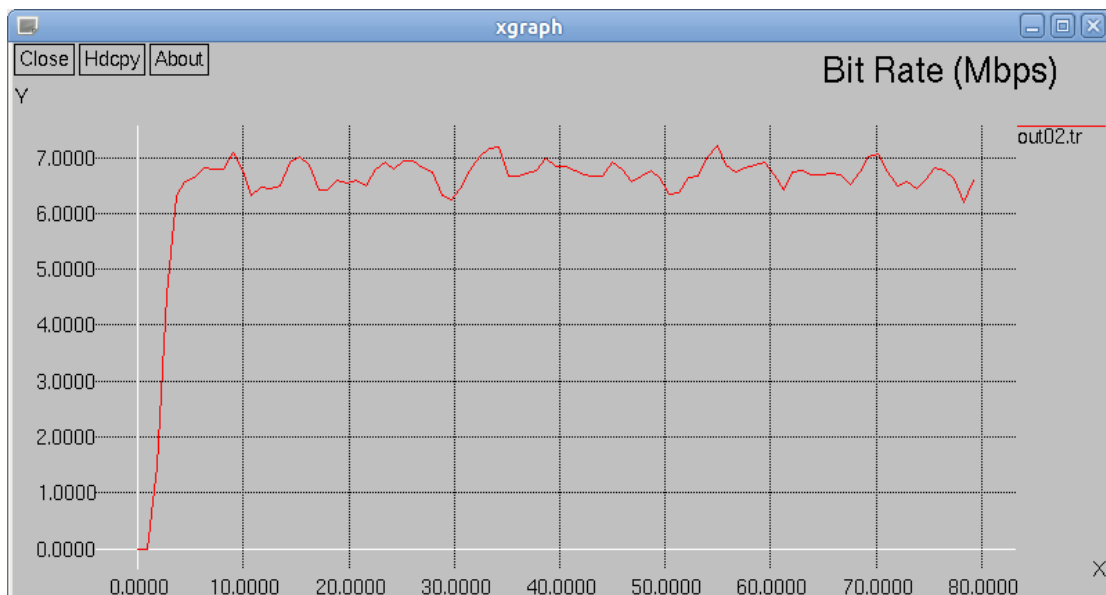


Figura 5.4. Throughput enlace Atacazo - Guango

La Figura 5.5 indica el Throughput enlace *Atacazo - Bombolí*.

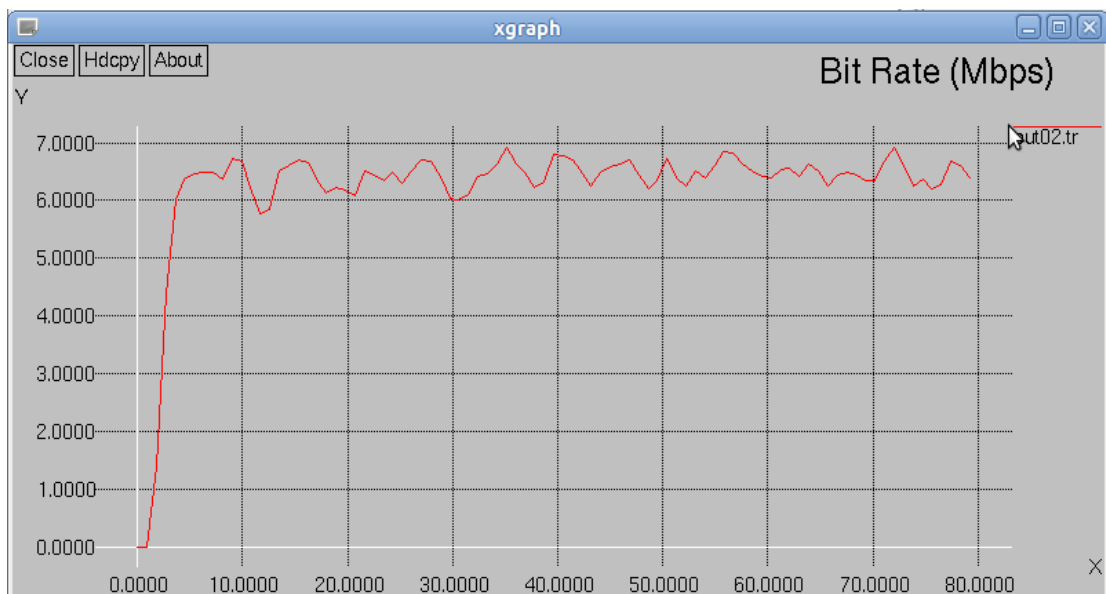


Figura 5.5. Throughput enlace Atacazo - Bombolí

La Figura 5.6 indica el Throughput enlace *ESPE IASA II - Bombolí*.

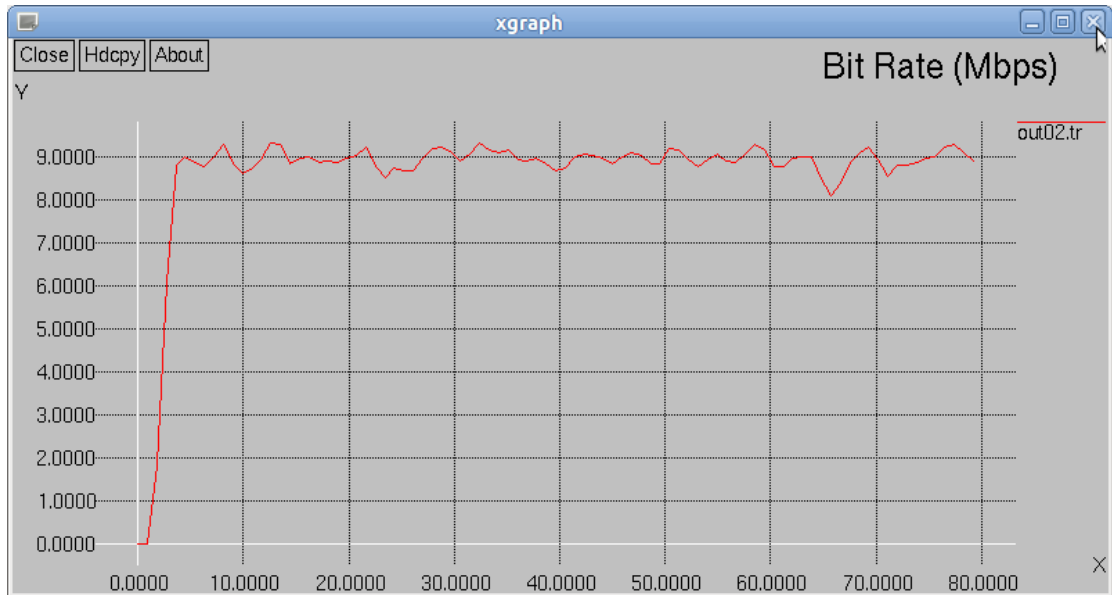


Figura 5.6. Throughput enlace ESPE IASA II – Bombolí

La Figura 5.7 se indica el Throughput enlace *ESPE Latacunga – Guango*.

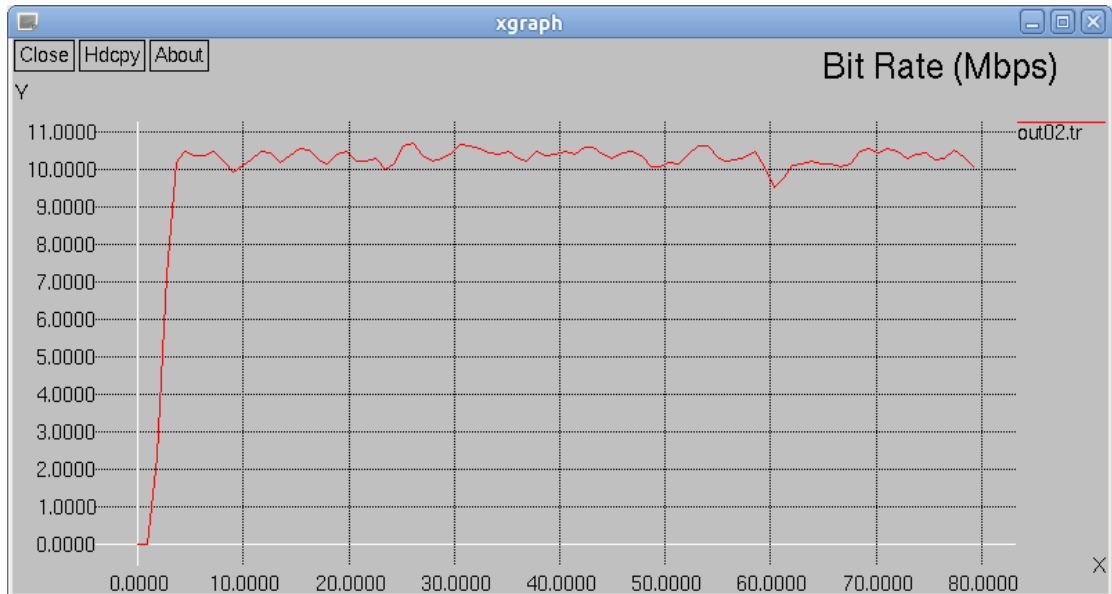


Figura 5.7. Throughput enlace Latacunga – Guango

5.1.2. Delay. Se puede o no transmitir tráfico en tiempo real

La medición del retardo del tiempo de extremo a extremo de una red, puede ser utilizada para deducir el ancho de banda disponible de una conexión de red inalámbrica. El retardo puede ser utilizado en una red inalámbrica tipo WiFi, como un parámetro para medir la carga de la red y también para el ancho de banda disponible.

Las redes inalámbricas basadas en el estándar técnico IEEE 802.11, las cuales desde una perspectiva de calidad de servicio y administración de tráfico, el principal problema con las redes WiFi es la relativa baja capacidad del canal compartido de radio. La naturaleza de los canales de radio y el acceso al recurso compartido ocasionan retardos variables del paquete de datos y pérdidas en la transmisión de datos.

La Figura 5.8 indica el Delay enlace *ESPE Sangolquí – Atacazo*.

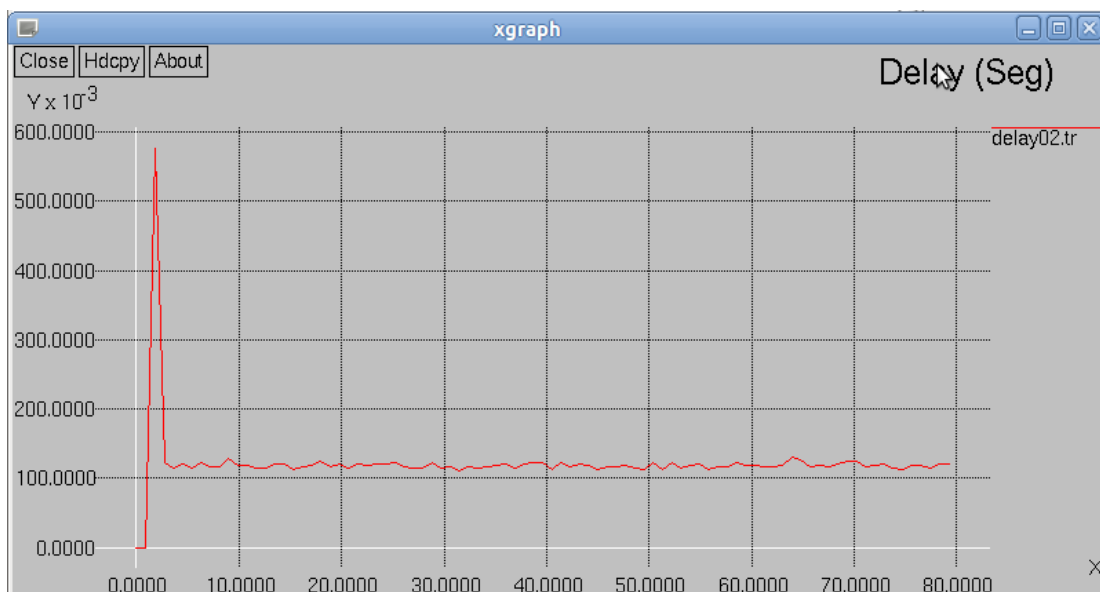


Figura 5.8. Delay enlace *ESPE Sangolquí – Atacazo*

La Figura 5.9 indica el Delay enlace *ESPE IASA I – Atacazo*.

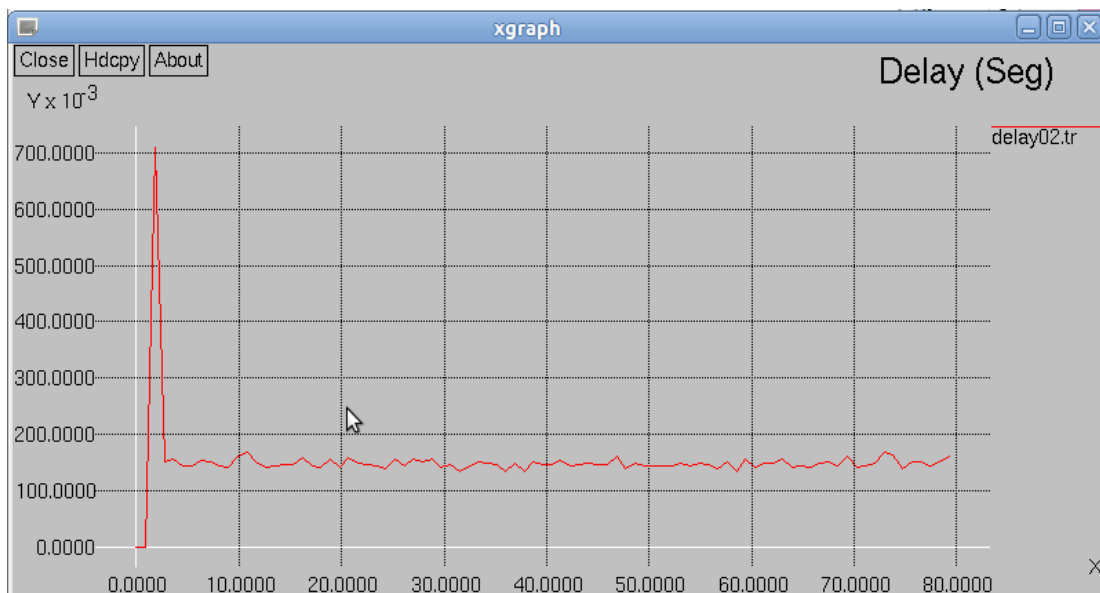


Figura 5.9. Delay enlace ESPE IASA I – Atacazo

La Figura 5.10 indica el Delay enlace *ESPE Atacazo - Guango*.

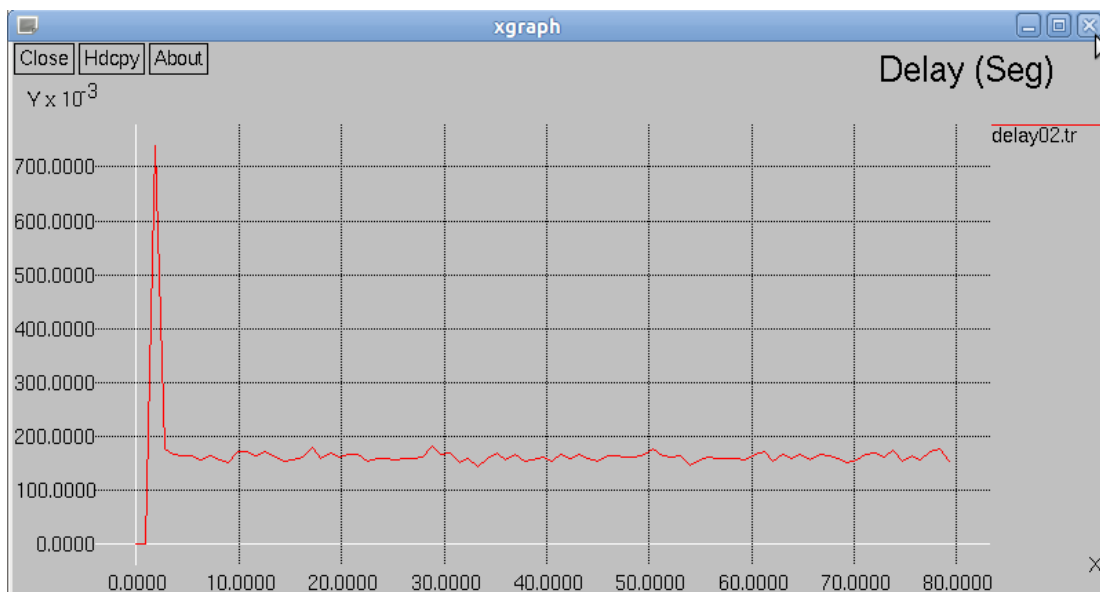


Figura 5.10. Delay enlace Atacazo - Guango

La Figura 5.11 indica el Delay enlace *Atacazo - Bombolí*.

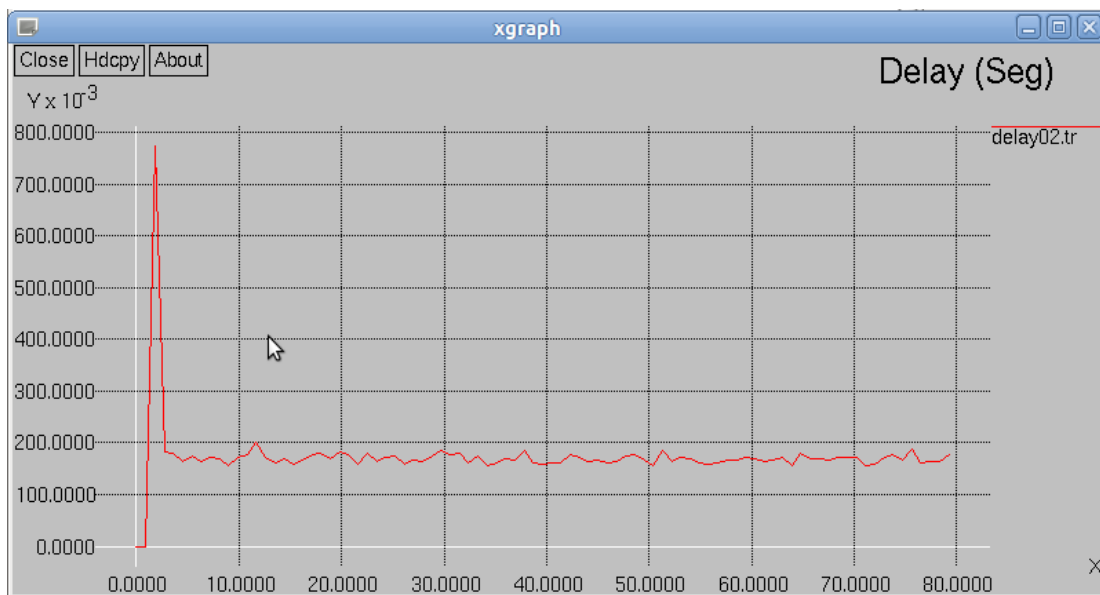


Figura 5.11. Delay enlace Atacazo - Bombolí

La Figura 5.12 indica el Delay enlace *ESPE IASA II – Bombolí*.

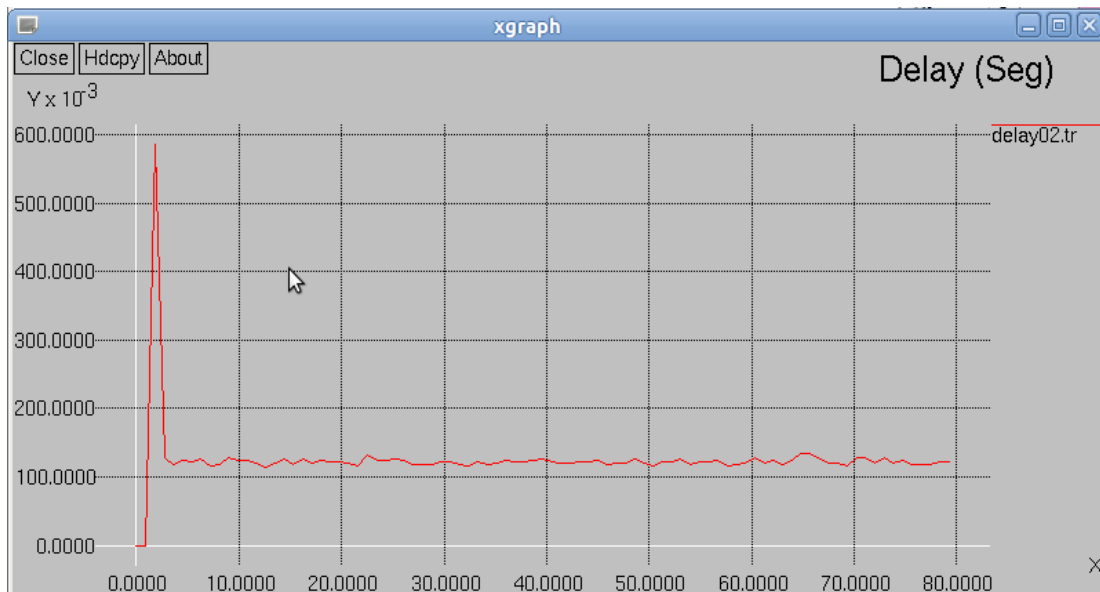


Figura 5.12. Delay enlace ESPE IASA II – Bombolí

La Figura 5.13 se indica el Delay enlace *ESPE Latacunga – Guango*.

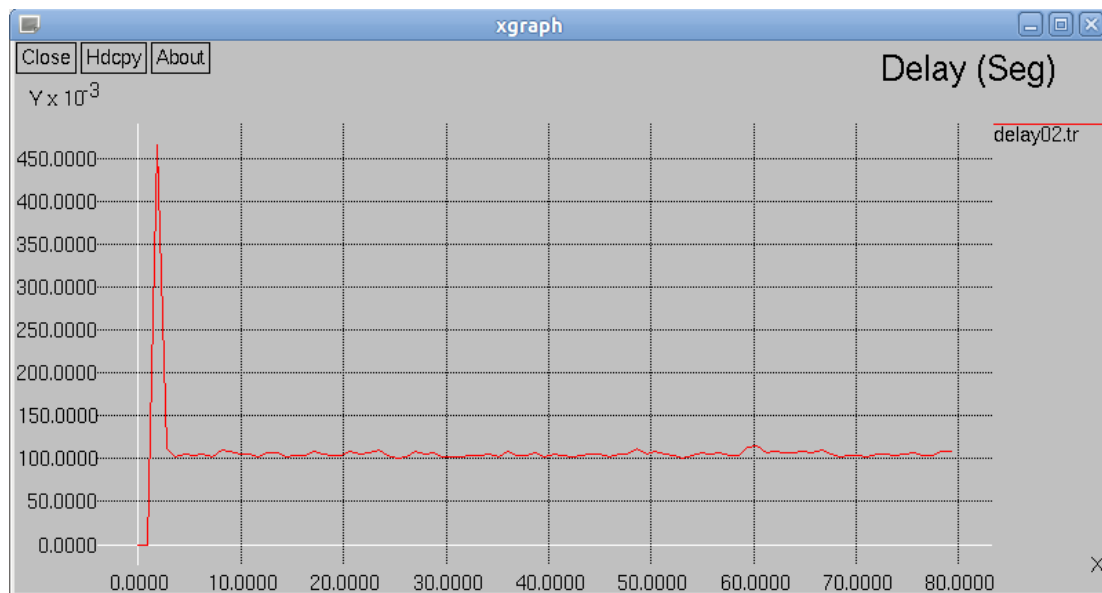


Figura 5.13. Delay enlace *Latacunga – Guango*

5.1.3. Jitter. Desviación en el desplazamiento de la señal digital

Jitter o variación del retardo es la variación en los tiempos de retardo de los diferentes paquetes que conforman un mismo flujo de datos. La causa es que los paquetes de un mismo flujo son procesados, encolados, desencolados, etc., de manera independiente y diferente, en consecuencia cada paquete puede llegar al destino fuera de secuencia y con un retardo diferente cada uno. Para aplicaciones de tiempo real es esencial que en el destino los paquetes lleguen en el orden correcto y con la misma velocidad que fueron generados.

Para obtener el Jitter se realizaron cinco simulaciones del Delay para determinar la variación de retardo entre dos simulaciones contiguas, luego el archivo generado por ns2 con extensión *.tr* se utiliza para visualizar los gráficos en GraphTracer.

La Figura 5.14 indica el Jitter enlace *ESPE Sangolquí – Atacazo*.

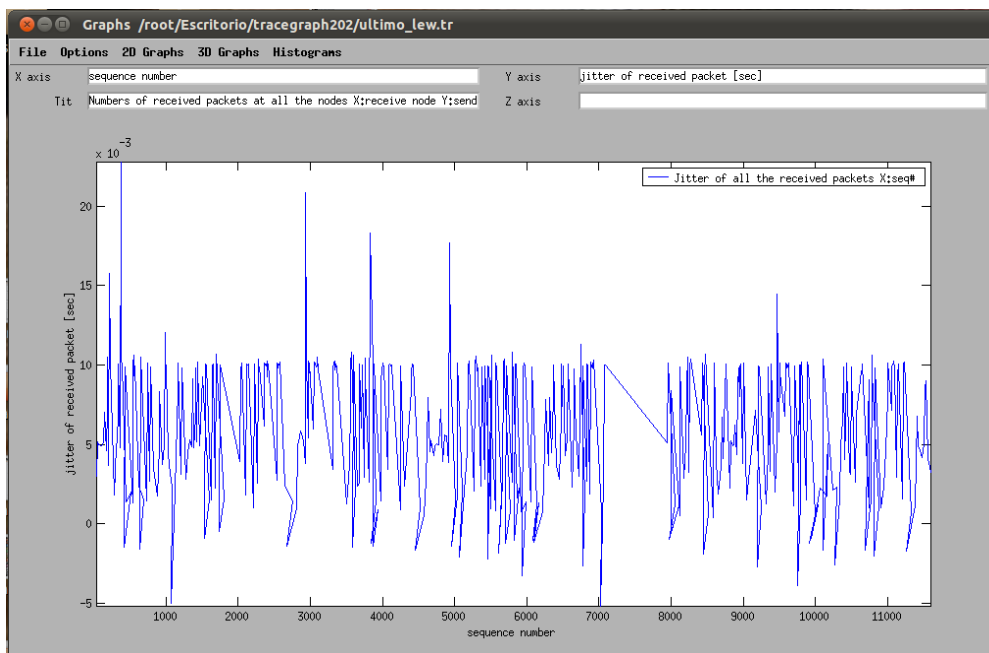


Figura 5.14. Jitter enlace ESPE Sangolquí – Atacazo

La Figura 5.15 indica el Jitter enlace *ESPE IASA I – Atacazo*.

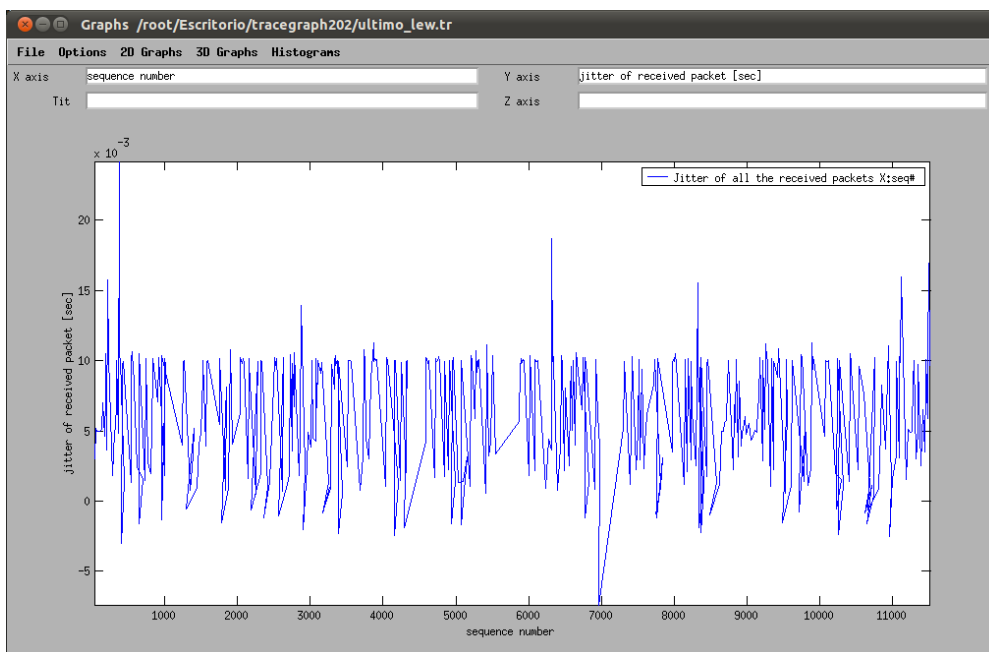


Figura 5.15. Jitter enlace ESPE IASA I – Atacazo

La Figura 5.16 indica el Jitter enlace *ESPE Atacazo - Guango*.

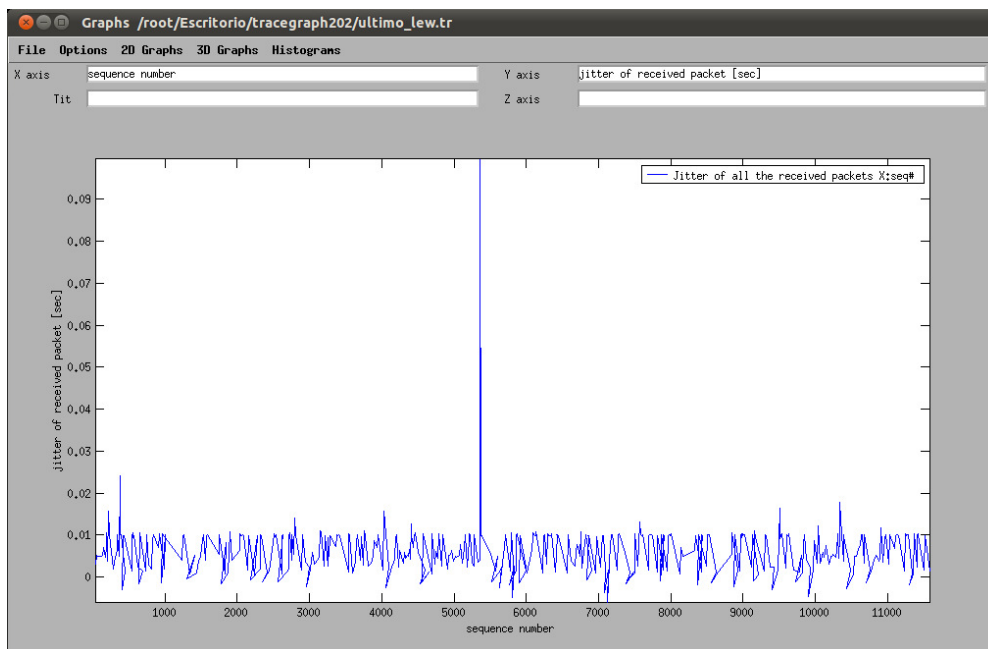


Figura 5.16. Jitter enlace Atacazo - Guango

La Figura 5.17 indica el Jitter enlace *Atacazo - Bombolí*.

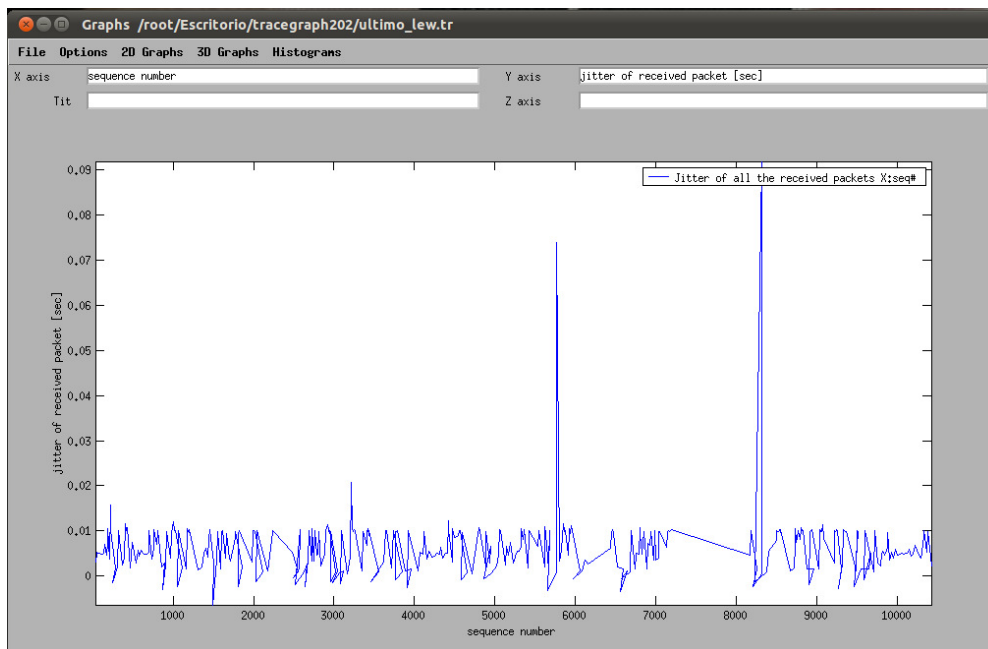


Figura 5.17. Jitter enlace Atacazo - Bombolí

La Figura 5.18 indica el Jitter enlace *ESPE IASA II - Bombolí*.

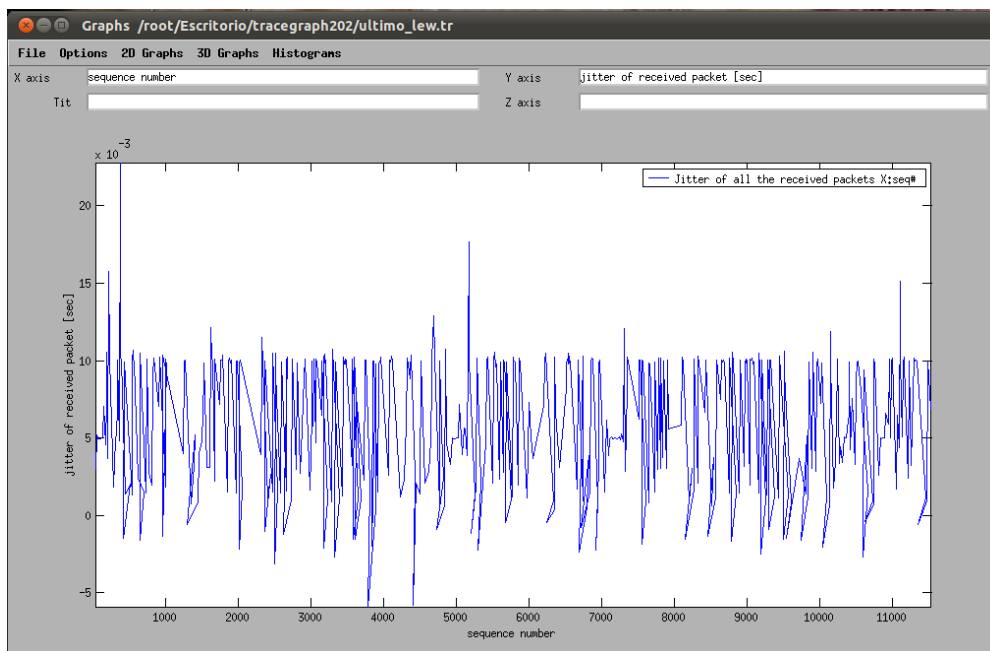


Figura 5.18. Jitter enlace *ESPE IASA II – Bombolí*

La Figura 5.19 se indica el Jitter enlace *ESPE Latacunga – Guango*.

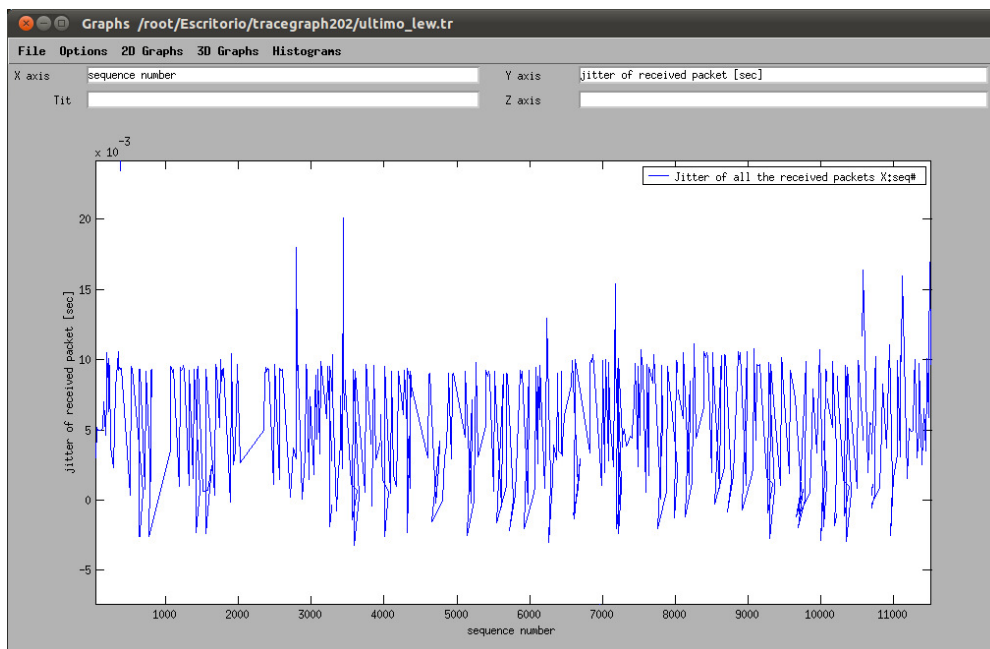


Figura 5.19. Jitter enlace *Latacunga – Guango*

5.1.4. Paquetes perdidos

El parámetro paquetes perdidos da una idea de la fiabilidad de una conexión, en donde un paquete de datos conocido es enviado a un destino, este responderá confirmando la recepción de los datos enviados. En el caso ideal la pérdida de paquetes será 0, cada paquete que se envíe llegaría sin duda al destino elegido, ya que en la realidad es irremediable que se de cierta pérdida de esos paquetes, porque los sistemas de comunicaciones corrigen esas pérdidas requiriendo el paquete perdido.

Mientras la pérdida se encuentre por debajo del 5% no se debería notar ningún problema, no obstante que cuanto más alto es el porcentaje de pérdida de paquetes, más despacio trabajara la conexión inalámbrica, porque en la mayor parte de casos se tiene que reenviar varias veces la misma información.

La Figura 5.20 indica los Paquetes perdidos enlace *ESPE Sangolquí – Atacazo*.

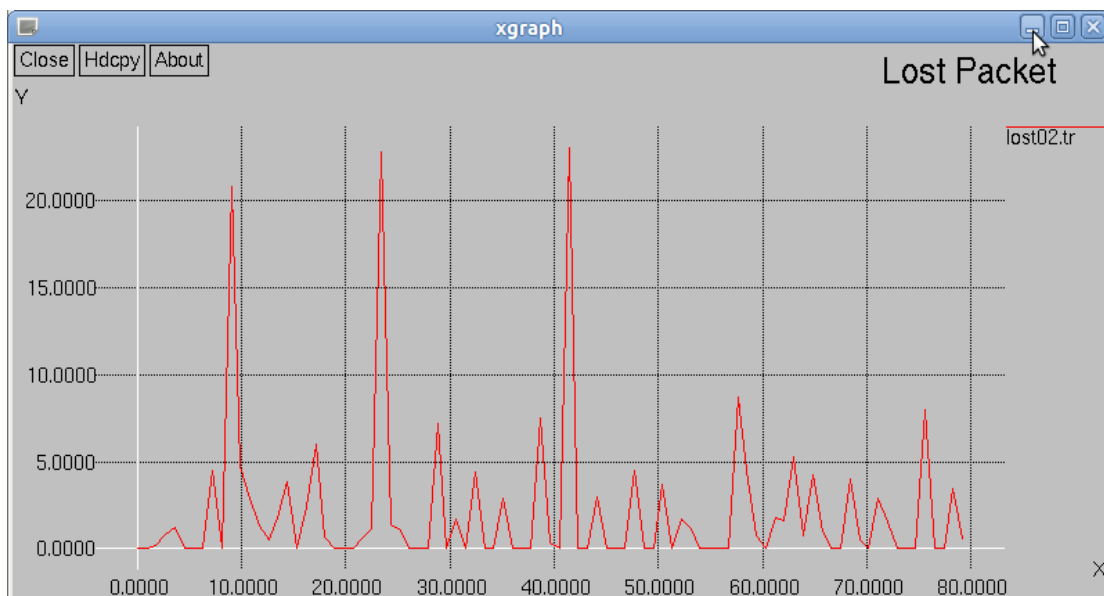


Figura 5.20. Paquetes perdidos enlace *ESPE Sangolquí – Atacazo*

La Figura 5.21 indica los Paquetes perdidos enlace *ESPE IASA I – Atacazo*.

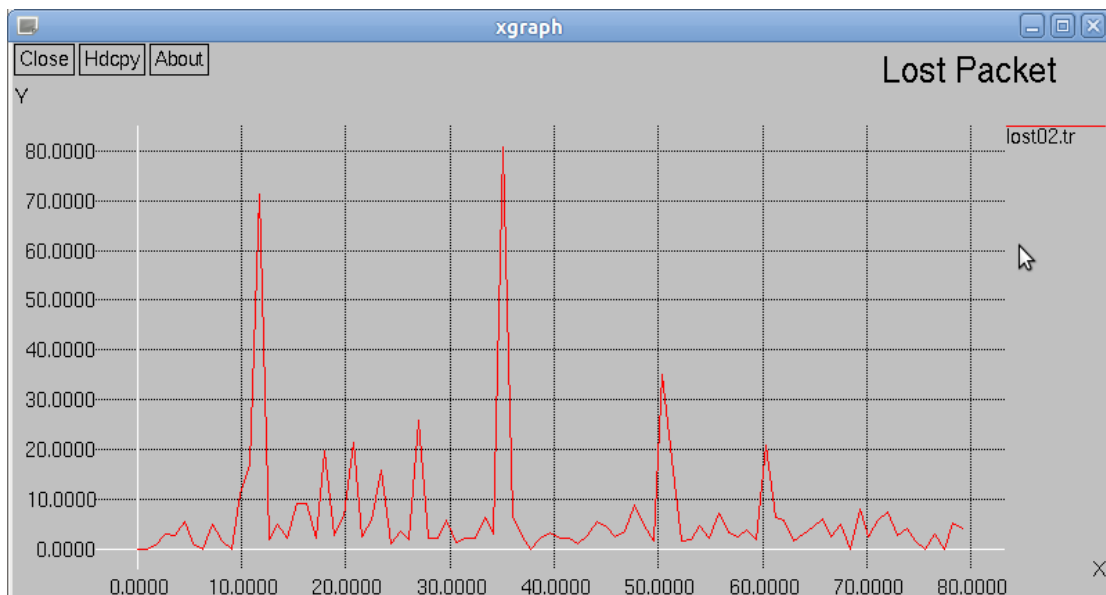


Figura 5.21. Paquetes perdidos enlace ESPE IASA I – Atacazo

La Figura 5.22 indica los Paquetes perdidos enlace *ESPE Atacazo - Guango*.

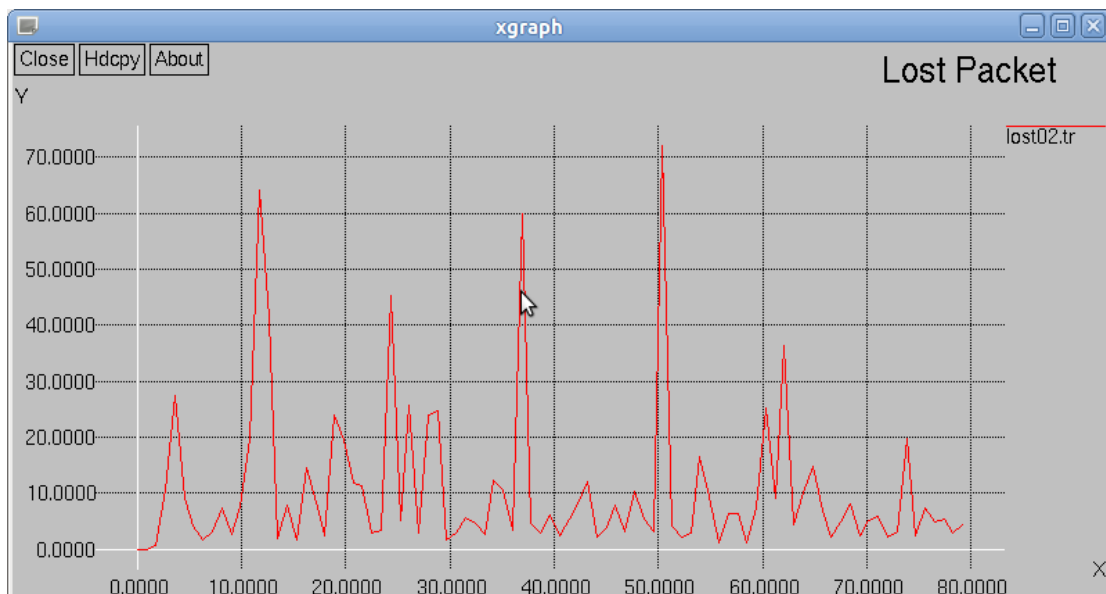


Figura 5.22. Paquetes perdidos enlace Atacazo - Guango

La Figura 5.23 indica los Paquetes perdidos enlace *Atacazo - Bombolí*.

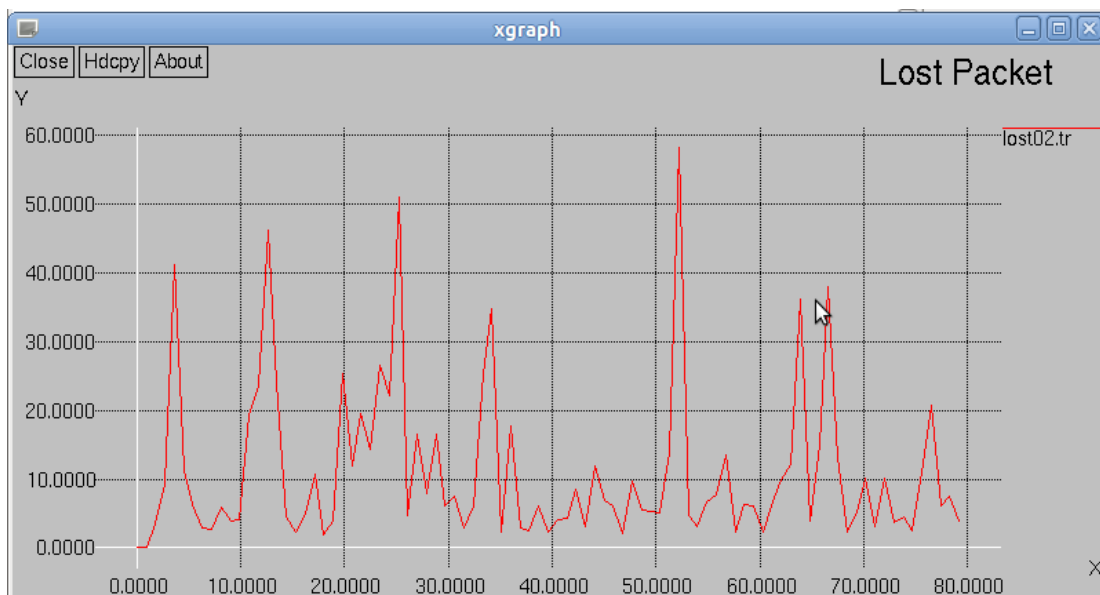


Figura 5.23. Paquetes perdidos enlace *Atacazo - Bombolí*

La Figura 5.24 indica los Paquetes perdidos enlace *ESPE IASA II – Bombolí*.

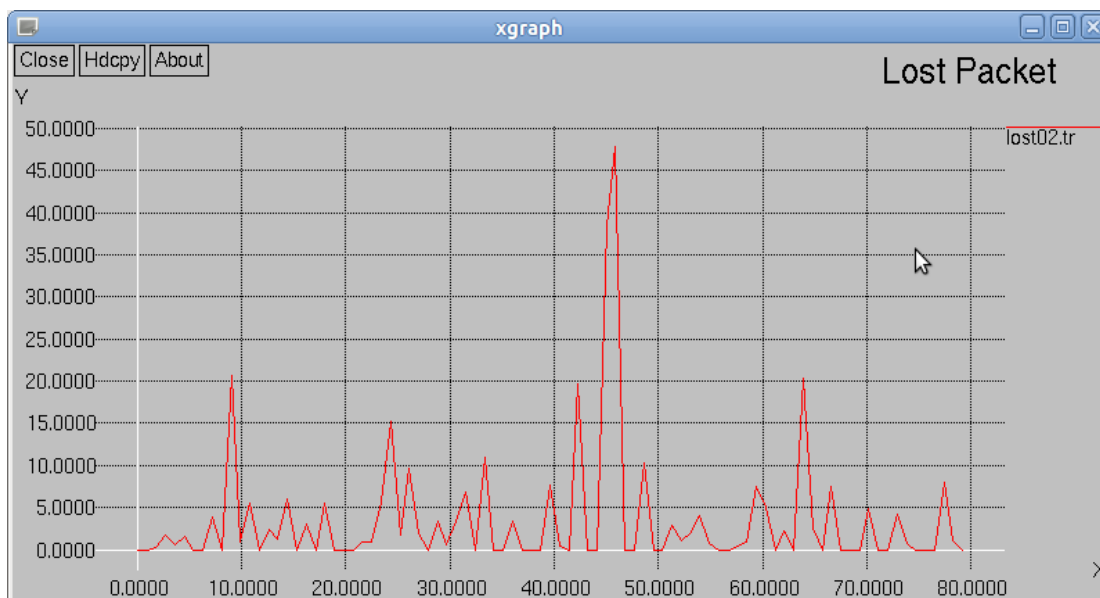


Figura 5.24. Paquetes perdidos enlace *ESPE IASA II – Bombolí*

La Figura 5.25 se indica los Paquetes perdidos enlace *ESPE Latacunga – Guango*.

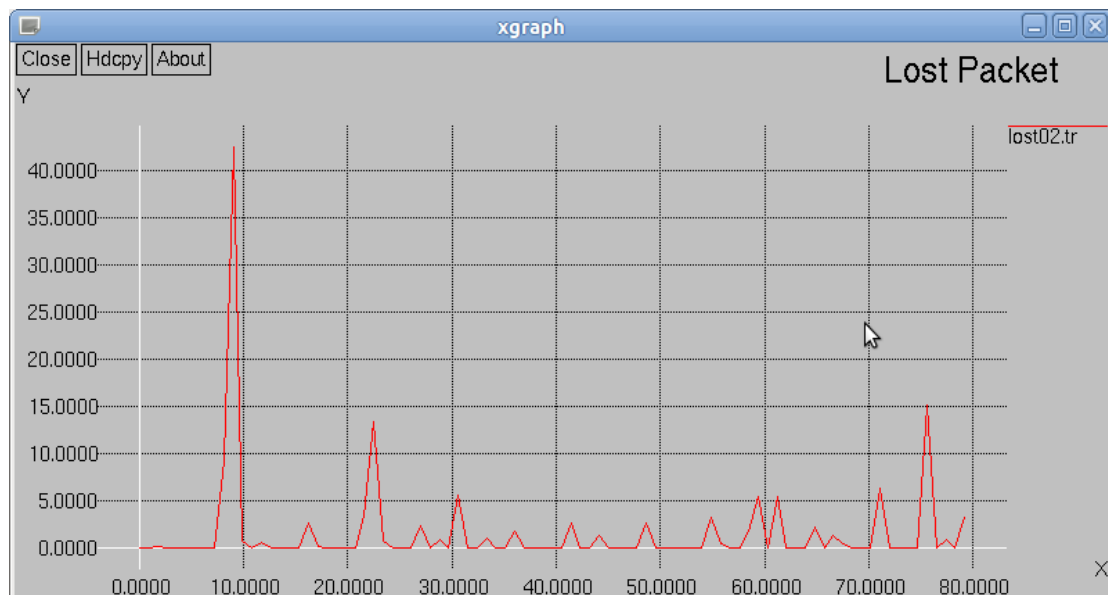


Figura 5.25. Paquetes perdidos enlace *Latacunga – Guango*

5.2. Análisis de resultados

A continuación se analiza cada uno de los parámetros de Calidad y Servicio:

1. Troughput

Como se puede ver en las Figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7 del Troughput, al inicio de la transmisión en el tiempo de 1,4 seg se tienen una pendiente que representa todos los procesos iniciales para establecer la comunicación, envío de paquetes, etc. Luego se mantiene una constante media que representa el envío de los datos.

El rendimiento del sistema de comunicaciones inalámbrico es lo más importante, porque si en una red no se garantiza una tasa mínima de transferencia, el sistema no funcionaría con una buena Calidad y Servicio. Para el cálculo del rendimiento de cada enlace inalámbrico se lo realiza con el parámetro Troughput (Bit Rate), de la figura obtenida en Xgraph, y el Bit Rate del estándar 802.11b, 11 Mbps, mediante la siguiente Ecuación 5.1.

$$\eta = \frac{\text{Throughput}}{\text{BitRate}} \quad (5.1)$$

Para realizar el cálculo del throughput se utiliza la Ecuación 5.2.

$$\eta = \frac{8 * Ne(1 - Y)}{\tau} \quad (5.2)$$

Donde Ne es número de bytes enviados, τ es tiempo de simulación y Y es probabilidad de error de paquete; expresado como en la Ecuación 5.3.

$$Y = \frac{\text{número de paquetes perdidos}}{\text{número de paquetes enviados}} \quad (5.3)$$

En la Tabla 5.3 se indica el rendimiento de cada enlace calculado con la Ecuación 5.1, en base a la ecuación 5.2 y las Figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7 sin considerar los valores que están fuera de la norma.

Tabla 5.3. Velocidad de transmisión promedio y rendimiento de cada enlace

LUGAR	Troughput Mínimo [Mbps]	Troughput Máximo [Mbps]	Troughput Promedio [Mbps]	Rendimiento η [%]
ESPE Sangolquí- Atacazo	9,2	9,5	9,4	85,0
IASA I - Atacazo	8,2	8,8	8,5	77,3
Atacazo - Guango	6,2	7,2	6,7	60,9
Atacazo - Bombolí	5,8	7,0	6,4	58,2
IASA II - Bombolí	8,8	9,2	9,0	81,8
ESPE Latacunga - Guango	10,1	10,7	10,4	94,5
PROMEDIO TOTAL			8,4	76,3

Dado que la política en la ESPE de la mínima tasa de transmisión es de 4 Mbps, y de acuerdo a la Tabla 5.3, se observa que la tasa real de transmisión mínima está en 5,8 Mbps; cumpliéndose esta política.

Además, considerando el Throughput 4 Mbps (política ESPE) y el BitRate de 11 Mbps (estándar 802.11n), el rendimiento mínimo del sistema WiLD de la ESPE con la Ecuación 5.1 se obtiene que es el 36,36%. Entonces, de acuerdo a la Tabla 5.3 el rendimiento de cada enlace debe ser superior al rendimiento mínimo del sistema de 36,36%, y también el rendimiento promedio de todos los enlaces es mayor, con un valor de 76,3%. Cumpliéndose satisfactoriamente con este parámetro de Calidad y Servicio.

2. Delay

En las Figuras 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13 del Delay se determinan los valores aproximados mínimos y máximos, sin considerar los valores que están fuera de la norma, para obtener el promedio del Delay de cada enlace, como se indica en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Promedio del Delay en cada enlace

LUGAR	Mínimo Delay [seg]	Máximo Delay [seg]	Promedio Delay [seg]
ESPE Sangolquí- Atacazo	0,11	0,12	0,12
IASA I - Atacazo	0,13	0,17	0,15
Atacazo - Guango	0,16	0,18	0,17
Atacazo - Bombolí	0,17	0,20	0,19
IASA II - Bombolí	0,12	0,14	0,13
ESPE Latacunga - Guango	0,10	0,11	0,11
PROMEDIO TOTAL			0,14

Al igual que en el Troughput, al inicio de la transmisión en el tiempo de 1,4 seg se tiene un pico que representa todos los procesos iniciales para establecer la comunicación, etc., luego se mantiene una constante media.

Los tiempos Delay están en promedio entre 0,11 a 0,19 seg, y el valor del retardo promedio total está en el orden de 0,14 seg, siendo menor al límite de 200 ms, de acuerdo a la recomendación ITU G.114, para tener una comunicación entre dos nodos y poder transmitir tráfico en tiempo real.

En la transmisión de una red inalámbrica se produce el retardo por la naturaleza de los canales de radio y el acceso al recurso compartido de dos nodos inalámbricos. Pero también depende de la distancia entre nodos, de acuerdo a la Tabla 5.4, en la cual se observa que conforme la distancia aumenta también aumenta el retardo.

3. Jitter

En las Figuras 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 y 5.19 del Jitter se determina los valores aproximados mínimos y máximos, sin contar con los valores que están fuera de la norma, para obtener el promedio del Jitter de cada enlace, como se indica en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Promedio del Jitter en cada enlace

LUGAR	Mínimo Jitter [ms]	Máximo Jitter [ms]	Promedio Jitter [ms]
ESPE Sangolquí- Atacazo	2,5	10,0	6,3
IASA I - Atacazo	2,5	10,0	6,3
Atacazo - Guango	4,0	10,0	7,0
Atacazo - Bombolí	4,0	10,0	7,0
IASA II - Bombolí	2,5	10,0	6,3
ESPE Latacunga - Guango	2,5	10,0	6,3
PROMEDIO TOTAL			6,5

Se puede concluir que el tiempo de variación de retardo promedio está en el orden de los 6,5 ms, lo que implica que no existe mucha desviación en el desplazamiento de la señal digital. Además, cuando es más largo el enlace se produce mayor Jitter.

4. Paquetes perdidos

Respecto a los paquetes perdidos, analizando las Figuras 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24 y 5.25, sin considerar los valores que están fuera de la norma, se obtiene el promedio en cada enlace, como se indica en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Promedio de los paquetes perdidos en cada enlace

LUGAR	Mínimo paquetes perdidos	Máximo paquetes perdidos	Promedio paquetes perdidos
ESPE Sangolquí- Atacazo	0	9	4,5
IASA I - Atacazo	0	35	17,5
Atacazo - Guango	2	40	21,0
Atacazo - Bombolí	3	45	24,0
IASA II - Bombolí	0	20	10,0
ESPE Latacunga - Guango	0	6	3,0
PROMEDIO TOTAL			13,3

Los paquetes perdidos son pocos por debajo de 45. La red WiLD trabaja de tal manera que si se tiene un número máximo de paquetes en la cola va a existir mayor congestión, y por consiguiente pérdida de paquetes. La pérdida de paquetes es muy pequeña porque el protocolo UDP garantiza una tasa de transmisión óptima, para que no se genere un cuello de botella y se pierdan los datos, garantizando el uso adecuado del canal.

Los paquetes se pierden en mayor cantidad a medida se aumenta la distancia entre los dos nodos, como se indica en la Tabla 5.6. La cantidad de paquetes perdidos no es muy significativa, porque se encuentra en el orden del 14 paquetes perdidos, lo que corresponde al 0,93% ($14/1500 \cdot 100$), un porcentaje bastante aceptable por ser menor al 5%; para que la comunicación sea confiable.

Se obtuvo alto rendimiento en la transmisión de datos, con el máximo aprovechamiento del canal, determinándose que la red inalámbrica con transmisión en protocolo UDP, por sus características, debe ser utilizada en su mayoría en transmisiones inalámbricas de tiempo real.

5.2.1. Garantía de QoS

La Calidad y Servicio es la capacidad de una red de proveer una garantía y control en la asignación de recursos, y una diferenciación de servicios conforme a las aplicaciones solicitadas por las instituciones.

Según los proveedores de tecnología 802.11b, en aplicaciones wireless se estima que el overhead puede llegar a un 60% del total de datos procesados, porque el overhead son datos extras que permiten que los datos reales puedan viajar de un punto a otro, cumpliendo funciones de seguridad, direccionamiento, administración de tráfico de datos, etc., pero no son partes de los datos de información que se envían entre un origen y un destino. Esto para los fines de velocidad de transferencia implica un deterioro real en la velocidad de los datos de información, por lo tanto el ancho de banda real de datos de información (throuput) se ubicará entre los 4 a 5 Mbps en un enlace 802.11b. Por lo que el estándar institucional de la ESPE para la tasa de transmisión de datos institucional se establece en 4Mbps, porque toda la red inalámbrica está instalada con el estándar 802.11b, entonces el estándar de la ESPE ofrece a todos los usuarios que compartan el recurso de datos con una Calidad y Servicio total mínima de 4 Mbps.

Además, un fenómeno común de esta tecnología 802.11 es la captura del ancho de banda por ciertos usuarios dejando al resto de los usuarios con muy poco recurso. Es decir, el estándar 802.11b no incluye una administración inteligente del ancho de banda disponible, por consiguiente una administración adecuada del ancho de banda debe estar acompañada con productos diseñados para tal fin. Estos productos inalámbricos adaptan la

velocidad de transferencia de datos acorde a la calidad de señal/ruido recibida, en dicha selección el equipo puede variar entre 1, 2, 5.5 y 11 Mbps. Esto debe tenerse en cuenta ya que en casos de mucho ruido y poca visibilidad con el nodo, las velocidades de transferencia de datos pueden ser considerablemente menores obteniéndose calidades de servicio no deseadas [58].

La Calidad y Servicio de la red de datos se evalúa en función de la cantidad de información transmitida por unidad de tiempo (bps), tomando el estándar 802.11g que tiene la velocidad de transferencia de 54 Mbps, el estándar 802.11b que tiene la velocidad del canal de 11Mbps, y en base a los resultados obtenidos de la simulación, esta red WiFi de largas distancias es viable implementarla con buena calidad, porque satisface el requerimiento mínimo de una tasa de transmisión continua superior a los 4 Mbps, un rendimiento promedio del 76,3% superior al mínimo del sistema de 36.36%, y un tiempo de retardo promedio total de 0,14 seg; que está por debajo de 200 mseg de acuerdo a la recomendación ITU G.114.

En la simulación de la red WiLD de la ESPE se determina un Delay promedio total de 0,14 seg, y recibe y transmite datos a un promedio de 8,4 Mbps; los cuales son suficientes para brindar servicios con una muy buena calidad, dependiendo de la distribución que se le realice a cada una de las aplicaciones, siendo la prioritaria las aplicaciones que tienen que ver con las trasmisiones en tiempo real, tales como:

1. Datos de 1 a 2 Mbps
2. VoIP de 1 a 2 Mbps
3. Video Streaming estándar de 2 a 4 Mbps.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- La comunicación inalámbrica con el estándar WiFi se puede acoplar a enlaces de larga distancia, pero si no se modifica adecuadamente los parámetros se producirá problemas en los enlaces, con limitaciones significativas en las prestaciones que va a tener
- La operación eficiente de una comunicación WiFi a larga distancia, requiere salirse levemente del estándar 802.11, pero se mantiene la compatibilidad y la interoperabilidad.
- Los valores calculados de *ACKTimeout* con la Ecuación 3.3, son valores mínimos en comunicaciones inalámbricas para larga distancia, por lo que es mejor que los *ACKTimeout* sean valores más altos para trabajar correctamente sobre enlaces de larga distancia; reduciendo los reintentos de reenvío y mejorando la conectividad. Pero debe tomarse en cuenta el valor máximo, para que no se vuelva lenta la transmisión, el cual sería *ACKTimeout* mínimo incluido el tiempo de una trama de datos transmitida.
- Los límites de distancia de IEEE 802.11 están dados por las capas PHY y MAC, el PHY impone límites según el dominio regulatorio, el entorno y el material empleado, y el MAC impone límites con el *ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime* como un ajuste no estándar.

- Los tiempos de propagación *ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime* para cada uno de los enlaces que interconectan las sedes de la ESPE, deben ser calculados de manera individual de acuerdo a la distancia de cada uno de estos enlaces. Esto evita que los tiempos propagación sean grandes en enlaces de corta distancia, produciendo pérdida de paquetes, y pequeños en enlaces de larga distancia produciendo que no se interconecten.
- La tarjeta ALIX admite el cambio de parámetros que permiten incrementar las distancias de los enlaces inalámbricos, y se puede configurar las interfaces de acuerdo al estándar 802.11 a/b/g/n: modificando el modo deseado.
- Este método de comunicaciones WiFi de larga distancia, no se utiliza en nuestro medio, porque se tiene que realizar un análisis de los equipos en su funcionamiento interno, para cambiar y ajustar sus parámetros de acuerdo a la necesidad de los enlaces. Este cambio de parámetros se realiza con programas de software adicionales a los equipos, que resulta muy incómodo a únicamente utilizar equipos específicos de acuerdo a la configuración estándar o por defecto.
- El sistema WiLD ESPE en lo que se requiere a los accesorios y equipos, tendría un costo estimado de 4192,32 USD, mucho menor en casi 8 veces a una implementación con WiMAX; en las mismas condiciones de equipamiento y frecuencia. Lo único caro será la construcción o arrendamiento de las torres de las repetidoras ubicadas en el Atacazo, Bombolí y Guango, esto para cualquiera de los dos estándares.
- Las antenas direccionales son utilizadas únicamente para una comunicación inalámbrica punto a punto, las cuales necesitan mayor ganancia, y las antenas omnidireccionales son utilizadas para dar cobertura inalámbrica en cada Sede de la ESPE, con menor ganancia a las direccionales.
- No se puede realizar la simulación de la red WiLD ESPE en conjunto, puesto que se deben cambiar los parámetros de la capa MAC para cada enlace, y ns2 mantiene fijos estos parámetros en simulaciones WiFi de corta distancia, para lo que fue desarrollado. En consecuencia la simulación se realiza con 2 nodos a la vez, sin que se produzca ningún problema en el resultado final de la red, porque todos los enlaces se realizan con routers que permiten cambios de estos parámetros.

- En las simulaciones con el software ns2 se determina que a mayores distancias de comunicación inalámbrica, da como resultado un mayor número de paquetes perdidos, mayor retardo y mayor Jitter, pero menor velocidad de transmisión Throughput.
- De acuerdo al análisis de cada uno de los resultados de los parámetros de QoS, se determina que cada uno de los enlaces satisface el requerimiento básico de velocidad de transmisión de la ESPE de 4Mbps, para brindar los servicios que soporta la actual tecnología, el estándar 802.11b.

6.2. Recomendaciones

- Para la configuración correcta de los parámetros de comunicaciones WiFi de larga distancia, se recomienda tenerse en cuenta que al aumentar la distancia, la probabilidad de transmisión es menor y la probabilidad de colisión es mayor. Porque al darse más colisiones, se dan más retransmisiones con tamaños de ventana de contienda más grandes, lo que da lugar a una probabilidad de transmisión menor
- Previamente al diseño de una red WiLD, es necesario estimar la capacidad de la red y los servicios que va a brindar la misma, con el fin de determinar características y estándar a emplearse.
- Se recomienda el uso de un software en la planificación de una red inalámbrica, porque permite establecer las mejores coordenadas para la ubicación de las torres de comunicación, lo que permite realizar un diseño con el menor costo económico posible con una mejor cobertura de la señal.
- Se recomienda tener un buen conocimiento del Sistema Operativo Linux, para realizar la configuración de los routers en el diseño de una red WiLD.
- Al realizar el diseño de una red WiLD se debe determinar el empleo del menor número de estaciones repetidoras, para obtener menor costo en la construcción o arrendamiento de torres.
- Se recomienda cuando se realice la implementación física de los enlaces, efectuar un estudio de los canales que se encuentran con mayor interferencia en la banda de los 2,4

GHz, porque es una banda libre de frecuencia muy utilizada por diversos equipos, lo cual puede provocar interferencia en los enlaces.

- Para obtener el diseño completo del proyecto de la red WiLD ESPE, se debe realizar un próximo proyecto de diseño de la red inalámbrica de cada Sede de la ESPE.

Bibliografía

- [1] WIFI, “Nada es imposible: Conexion WiFi de más de 500 Km”, <http://wifw.com/2010/03/nada-es-imposible-conexion-wifi-de-mas-de-500-km/>, 29 de marzo delo 2010.
- [2] OFTELSAT A.C.P., “Tecnologías de Información y Comunicación para el Desarrollo”, <http://www.oftelsat.com/WEBlogs/weblogs.html>, 6 de noviembre del 2010.
- [3] WIKIPEDIA, “Long-range Wi-Fi”, http://en.wikipedia.org/wiki/Long-range_Wi-Fi, Septiembre 2008.
- [4] WIKIPEDIA, “La enciclopedia libre”, <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>, 6 de noviembre del 2010.
- [5] FRIENDLY, Hacker LLC, “Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo”, Editorial Creative Commons, Tercera Edición, 2008.
- [6] SIMÓ REIGADAS, Francisco Javier, Tesis Doctoral, “Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo”, MADRID, ESPAÑA, Enero de 2007.
- [7] CREATIVE COMMONS, “Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo”, Tercera Edición, 2008.
- [8] GARAGORRY, Diego, LEV, Enrique, VIERA Fernando, “WiFi Aplicado a Sitios Alejados”, editorial WASA, Proyecto de fin de carrera de Ingeniería Eléctrica, Universidad de la República de Uruguay, Montevideo Uruguay, Mayo 2011.
- [9] NAVARRETE CHÁVEZ, Carlos, “Evaluación de la tecnología IEEE 802.11n con la plataforma OPNET”, España, Universidad politécnica de Cataluña, 2009.

-
- [10] WIFI ZONE, lodemenos.net, “WLAN 802.11a/b/g y ahora 802.11n”, <http://www.lodemenos.net/WLAN-802-11a-b-g-y-ahora-802-11n.html>, , 26 de enero de 2007.
- [11] WIKIPEDIA, “IEEE 802.11”, http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11, ingreso 26 de julio de 2011.
- [12] WIKITEL, “Arquitectura del estándar Wi-Fi IEEE 802.11L”, <http://wikitel.info/wiki/WiFi>, , ingreso 28 de julio de 2011.
- [13] TECNOLOGÍA, “Cómo montar una red Wi-Fi en casa”, http://tecnologia-marcom.blogspot.com/2010_05_01_archive.html, ingreso 16 de mayo de 2010.
- [14] WIKITEL, “Control del medio de Acceso MAC del IEEE 802.11”, <http://wikitel.info/wiki/WiFi>, ingreso 28 de julio de 2011.
- [15] CAÑAS, Javier, “Introducción a las redes inalámbricas 802.11”, www.inf.utfsm.cl, Chile, 13 de marzo de 2003.
- [16] DNS.BDAT.NET, “Seguridad en redes Inalámbricas”, http://dns.bdat.net/seguridad_en_redes_inalambricas/book1.html, ingreso 26 de mayo de 2010.
- [17] MORALES, Raúl, “Crean un sistema Wi-Fi de larga distancia”, Tendencia de las Telecomunicación, http://www.tendencias21.net/Crean-un-sistema-Wi-Fi-de-larga-distancia_a2150.html, lunes 24 Marzo 2008.
- [18] WILAC.NET, “Acerca de las Tecnologías Inalámbricas”, <http://www.wilac.net/>, 2011.
- [19] WIKIPEDIA, “Tecnología inalámbrica usada en áreas rurales”, http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa_inal%C3%A1mbrica_usada_en_%C3%A1reas_rurales, ingreso 6 de mayo de 2011.
- [20] MUSGROVE, Mike, “Intel Unveils Long-Range Wireless Technology”, <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A63987-2005Apr18.html>, TechNews.com, , Martes, 19 de abril 2005, página E04
- [21] WIKIPEDIA, “Long-range Wi-Fi”, http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Long-range_Wi-Fi&oldid=461374944, ingreso 24 de junio de 2011.
- [22] LUDEÑA GONZÁLEZ, Patricia, “Estudio de aplicabilidad del estándar 802.11n para redes de larga distancia para entornos rurales en América Latina”, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España, 2011
- [23] IVAN, “Aprueban el estándar IEEE 802.22 para redes inalámbricas regionales (WRAN)”, <http://www.ddsmedia.net/blog/2011/07/aprueban-el-estandar-ieee-802-22-para-redes-inalambricas-regionales-wran/>, DDSmedia, 28 de julio de 2011.

-
- [24] OTERO, Jorge, “Internet por satélite”, <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2005/12/16/147740.php>, Eroski Consumer, 16 de diciembre de 2005.
- [25] PCENGINES, “ALIX3d3 system boards”, <http://www.pcengines.ch/alix3d3.htm>, 2007.
- [26] PCENGINES, “ALIX3d3 system boards”, <http://www.pcengines.ch/alix3d3.htm>, pdf, 2007-2010.
- [27] PCENGINES, “ALIX system boards”, <http://www.pcengines.ch/alix.htm>, 04/12/2010..
- [28] http://fmc.axarnet.es/redes/tema_07.htm, “Dispositivos para conectividad”, Información Completa sobre redes, ingreso 30 de julio de 2011.
- [29] PUNKN!X.com, “DNMA92, ath9k and hostapd with Voyage Linux”, <http://www.punknix.com/dnma92-ath9k-and-hostapd-with-voyage-linux>, February 23 2010.
- [30] WIKIPEDIA, “Wireless router”, http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_router, ingreso 20 de septiembre de 2011.
- [31] WiFi World, “WiFi N y los Routers inalámbricos WiFi N 802.11n de Banda Ancha”, <http://wifw.com/505/routers-inalambricos-wifi-n-802-11n-de-banda-ancha.html>, ingreso 15 de agosto de 2011.
- [32] WNC Wistron Neweb Corp, “Approval Sheet for Model DNMA-92 An IEEE 802.11n a/b/g Mini-PCI module”, <http://pcengines.ch/pdf/dnma92.pdf>, 10/13/2009.
- [33] Hiperlink Technologies, “Antena de Parrilla de 24 dBi 2.4 GHz Alta Performance Wireless LAN HG2424G”, <http://www.ds3comunicaciones.com/direccional.html>.
- [34] L-com, Global Connectivity, “HyperLink Wireless brand 2.4 GHz 24 dBi High Performance Die Cast Reflector Grid Wireless LAN Antenna - Model: HG2424G”, <http://www.l-com.com/productcenter.aspx?id=2005>, pdf.
- [35] Hiperlink Technologies, “Antena Omnidireccional de 12 dBi Wireless LAN High Performance HG2412U-NF”, <http://www.ds3comunicaciones.com/omni.html>.
- [36] Hiperlink Technologies, “Antena Omnidireccional de 15 dBi Profesional Wireless LAN High Performance HG2415U-PRO”, <http://www.ds3comunicaciones.com/omni15pro.html>.
- [37] 34Telecom S.L, “Antenas para redes inalámbricas WiFi”, <http://www.34t.com/Unique/wiFiAntenas.asp>, ingreso 20 de septiembre de 2011.
- [38] MIKE, “Antenas WiFi de largo alcance para conexiones a larga distancia”, <http://wifw.com/clave/larga-distancia>, WiFi World, 29 March, 2010.

-
- [39] “Antennas & Transmission Lines”, <http://wndw.net/pdf/wndw2-en/ch04-antennas.pdf>, ingreso 15 de agosto de 2011.
- [40] SINCABLE.NET, “Introducción a las antenas WiFi”, <http://www.sincables.net/staticpages/index.php?page=20061030222549626>, ingreso noviembre 01 2006.
- [41] WIKIPEDIA, “Antena”, <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>, ingreso 20 de septiembre de 2011.
- [42] ANTENNA-THEORY.com, “La fuente en línea para el aprendizaje y la comprensión Antenas”, <http://www.antenna-theory.com/spanish/antena.php>, ingreso 12 de julio de 2011.
- [43] PASCUAL, Alberto Escudero, TORRES M., Jose F., PIETROSEMOLI, Ermanno, “Antenas y Cables”, Unidad 08, octubre 2007.
- [44] SIMAL, Tomás, “MONOGRÁFICO: Redes Wifi - Enlaces inalámbricos (WDS)”, <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/961-monografico-redes-wifi?start=4>, CAJON DE SASTRE, 12 de Febrero de 2011.
- [45] Wireless-Soluciones, 2 Como dar cobertura inalámbrica a medianas y grandes poblaciones”, <http://www.34t.com>, 34Telecom, ingreso 12 de agosto de 2011.
- [46] RadioMobile, “Tutorial de Radio Mobile- Instalacion y Descarga Básica de un Mapa”, <http://sadaza.wordpress.com/>, mayo 28, 2009.
- [47] L-com, Global Connectivity, “HyperGain HG2408U” 2.4 GHz 8 dBi Omnidirectional Antena, www.wireless-solution.at/images/HG2408U.pdf.
- [48] BARRIONUEVO ZAPATA, Evelin Maricela, TAMAYO VEGAS, Viviana Alejandra “Análisis Del Desempeño de una Red con Tecnología Wifi para Largas Distancias en un Ambiente Rural de la Región Sierra” Sangolquí- Ecuador, ESPE, 2011.
- [49] VILLACÍS PÉREZ, Fausto David, “Estudio de Factibilidad de la Utilidad Asterisk en Placas Alix”, ESPE, 2011..
- [50] www.netkrom.com, “Calibración de Access Points para Aplicaciones de Larga Distancia”, http://www.netkrom.com/support/whitepapers/long_range_parameters_white_paper_spanish.pdf.
- [51] GARCÍA GARNACHO, Patricia, ”Manual de Uso de Radio Mobile”, junio 2006.
- [52] TUREGANO MOLINA, “Javier Simulador NS-2”, <http://linuxalbacete.org/web>, 02 de marzo de 2006.

-
- [53] “D-ITG, Distributed Internet Traffic Generator”, <http://www.grid.unina.it/software/ITG/>, Università degli Studi di Napoli Federico II (Italia), Dipartimento di Informatica e Sistemistica 11 de agosto 2011.
- [54] Wireless LAN professionals.com, “How to Guide on JPerf & IPerf”, <http://wirelesslanprofessionals.com/how-to-guide-for-iperf-jperf/>, pdf.
- [55] GABRIEL, “Iperf en openSUSE”, <http://labcitacoradegabriel.wordpress.com/2010/06/03/iperf-en-opensuse/>, Diario de un Informático, junio 3, 2010
- [56] FOX Board, “FOX Board G20 Developer doc”, <http://www.acmesystems.it/>, ingreso 12 de octubre de 2011.
- [57] Unex, “DNMA-92: 802.11n a/b/g wifi 2x2 mini-PCI module MB92/AR9220”, <http://www.unex.com.tw/product/dnma-92>, ingreso 12 de octubre de 2011.
- [58] 34Telecom S.L. “Calidad de servicio en redes inalámbricas 802.11b”, <http://www.34t.com/box-docs.asp?doc=636>, ingreso 20 de enero de 2012.
- [59] Developed at Department of Computer Science & Engineering, “The Enhanced Network Simulator (Release Version 1.2)”, <http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>, Indian Institute of Technology, Kanpur, India, ingreso 12 de febrero de 2012.
- [60] RAQUEL, “Instalar ns-2.34 en Ubuntu 10.04”, <http://rfsolano.blogspot.com/2010/11/instalar-ns-234-en-ubuntu-1004.html>, Raquel’s Blog, 22 de noviembre del 2010.

Glosario

ACK. (ACKNOWLEDGEMENT, en español acuse de recibo), en comunicaciones entre computadores, es un mensaje que se envía para confirmar que un mensaje o un conjunto de mensajes han llegado.

ACKTimeout. Se define como el tiempo que una estación espera la confirmación ACK de un paquete que ha mandado antes de darlo por perdido y volverlo a enviar.

ALIX. Min-computadora que puede ser dedicada a una función específica.

Antenas Wi-Fi. Antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

AODV. Protocolo de Enrutamiento Vector Distancia Bajo Demanda AdHoc.

AP. Punto de acceso.

BW. Ancho de banda.

COMPACT-FLASH. Memoria extraíble, capaz de guardar información.

CSMA/CA. Acceso múltiple sin portadora con evasión de colisión.

CTS. Preparado para enviar.

CTSTtimeout. Tiempo que el canal esté listo para envío, es un mensaje que el destinatario entrega al receptor para indicar que el canal de radio no se encuentra ocupado y por ende evita colisiones en el mismo.

CW. Ventana de contención.

dB. Decibelios

DCF. Función de coordinación distribuida.

DIFS. Espacio intertrama de DCF.

Dirección IP. Etiqueta que identifica un dispositivo.

DSSS. Espectro ensanchado por secuencia directa.

Embebido. Sistema de computadora en un tamaño reducido.

Ghz. GigaHerzios.

IEEE. Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.

IEEE 802.11b/g/n. El estándar IEEE 802.11 define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN.

IP. Protocolo de Internet.

LDPC. Chequeo de paridad de baja densidad.

MAC. (Media Access Control). Es una subcapa de la capa de enlace de datos de las siete capas del modelo OSI (capa 2). Atiende y canaliza los mecanismos de control de acceso que hacen posible que varios nodos de la red puedan comunicarse dentro de una red de múltiples puntos.

MIMO. Entrada múltiple – Salida múltiple.

PHY. Capa física.

Protocolo. Conjunto de reglas para establece comunicación.

QoS. Calidad de servicio.

Redes Inalámbricas. El término red inalámbrica (Wireless Network) es un término que se utiliza en informática para designar la conexión de nodos sin necesidad de una conexión física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas.

ROUTER. Dispositivo encargado de direccionar las comunicaciones entre redes.

RTP. Protocolo de Transporte de Tiempo Real, Protocolo de Control de Tiempo Real.

RTS. Petición para enviar.

Rx. Receptor.

SDM. Multiplexación por división espacial.

SlotTime. (Duración de slot). Depende de la capa física PHY y determina tiempos definidos en la subcapa MAC. En el estándar se prevé que la estación receptora reciba la trama dentro del mismo SlotTime que fue enviado. Este parámetro influye directamente en la probabilidad de que se generen colisiones en el acceso al medio.

SSID. Identificador de servicio conjunto.

STA. Estación.

Tx. Transmisor.

UDP. Protocolo de Datagrama de Usuario.

Wi-Fi. Tecnología inalámbrica.

WiLD. Wi-Fi de larga distancia..