

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA,
TELECOMUNICACIONES**

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

**“ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA
WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS EN UN AMBIENTE RURAL DE
LA REGIÓN SIERRA”**

**EVELIN MARICELA BARRIONUEVO ZAPATA
VIVIANA ALEJANDRA TAMAYO VEGAS**

SANGOLQUÍ- ECUADOR

2011

CERTIFICACIÓN

Se certifica que la Srta. Evelin Maricela Barrionuevo Zapata y la Srta. Viviana Alejandra Tamayo Vegas, desarrollaron y finalizaron el proyecto en su totalidad bajo nuestra dirección.

Ing. Román Lara
DIRECTOR

Dr. Gonzalo Olmedo
CODIRECTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a las personas que mas amo en la vida a mis padres, que han sido el pilar mas importante en todo el trayecto de mi vida estudiantil y personal, aquellas personas que me dieron siempre la mano cuando mas la necesite, que junto a mi lloraron, rieron, a ellos que gracias a su esfuerzo y su dedicación permitieron que culmine mi carrera con mucha felicidad.

A mis hermanos que siempre de una u otra manera estuvieron junto a mí en cada momento, brindándome su amor y cariño. Los amo mucho a todos y esto es por ustedes.

Evelin Barrionuevo

DEDICATORIA

Dedico a mis padres y a mis hermanos que me apoyaron en todo.

Viviana Tamayo

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento es a Dios, por darme a unos padres tan buenos y comprensibles, a unos hermanos que siempre estuvieron conmigo en cada momento, a ti chiquitita que ha pesar te todo has estado junto a mi en las buenas y en las malas que me has dado palabras de aliento en cada instante que me he sentido mal, Te amo enana, igual como los amo a todos.

A la persona que ha estado conmigo en cada momento dándome su apoyo incondicional y ánimos para que siga adelante y nunca decaiga a ti amor mío.

A mis ingenieros que me brindaron su apoyo en cada instante, dándome su mano amiga para salir adelante en todo este proceso.

Evelin Barrionuevo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que me dio fortaleza, que me iluminó en esos días oscuros y que me bendijo con señales divinas. Agradezco a mis padres que con su esfuerzo diario lograron que su hija alcance una meta más en su vida, a ellos les agradezco cada valor inculcado, cada palabra de aliento de ánimos, porque por ellos soy lo que soy. A mis hermanos que siempre estuvieron ahí para aconsejarme, para ayudarme en lo que fuese necesario y alegrarme con cada ocurrencia. A mis profesores que me transmitieron sus conocimientos y me formaron para enfrentar el mundo laboral. A mis amigos que a lo largo de mi carrera supieron darme ese abrazo amigo, en especial a mi gran amigo incondicional Mauricio Suntaxi que estuvo ahí cuando más lo necesitaba.

Viviana Tamayo

RESUMEN

El proyecto realizado permitió verificar el estudio de la capa MAC para la modificación de sus parámetros para un alcance a larga distancia, en este caso fue de 59,3 km en el enlace realizado entre las provincias Cotopaxi y Tungurahua, permitiendo la factibilidad de un análisis para conocer las condiciones adecuadas que debe tener el lugar donde se va a implementar la red.

Para la verificación del desempeño de la red se procedió a la realización de la simulación entre los nodos con los cambios previos en las librerías del simulador *ns-2*, en el análisis de una red a larga distancia, obteniendo resultados en toda la transmisión de los datos. Una vez realizada la simulación de red y analizando que parámetros se debe cambiar en la capa MAC, se procedió a la configuración de los equipos, para luego realizar la implementación de la red.

Finalizada la instalación de los equipos en la red, permitió obtener la toma de resultados de *throughput*, *delay*, *jitter*, paquetes perdidos, para luego determinar los cambios que se presenta en el desempeño de toda la red

PRÓLOGO

El presente proyecto dio a conocer la utilización del estándar IEEE 802.11 para establecer comunicación entre las zonas rurales de la provincia de Cotopaxi y la provincia de Tungurahua, define los parámetros técnicos que se deben cumplir y las modificaciones en la capa MAC necesarias para alcanzar largas distancias.

El estudio del arte del estándar 802.11 para largas distancias se encuentra en el Capítulo 2 de este proyecto, en el cual se resume en síntesis todo lo referente a la tecnología *WiFi*, las características y propiedades de la Capa Física y la Capa MAC para un alcance de larga distancia, además se detallan las consideraciones para el establecimiento de un enlace *WiLD* y las modificaciones en los tiempos de propagación como son; el *acktimeout*, *clear to send* y *slottime* para en enlace de larga distancia.

En el Capítulo 3 se estudian los materiales y métodos utilizados entre estos; el funcionamiento y configuración de la Tarjeta *Alix* para lograr un alcance de larga distancia, además el estudio de diferente software de simulación de redes; *ns-2*, *ns-3* y *NCTUns*, características y ventajas de cada uno. Seguido de esto se analiza qué software es el más adecuado para la simulación de este proyecto.

En el Capítulo 4 se describe todo lo referente a planeación de la red, es decir cómo está diseñada la red y como trabaja cada uno de los nodos, asimismo se presenta un análisis sobre los resultados que presenta la simulación de la red y el estudio radioeléctrico en *Sirenet*, loque permite posteriormente tomar en cuenta los requerimientos para la implementación de la red.

Mediante los argumentos del capítulo anterior se indica cómo efectuar el escenario de pruebas, y la medición del tráfico a partir de la inyección del mismo con la herramienta D-ITG y el análisis de cada uno de los parámetros que miden el desempeño de la red como son; el *delay*, *jitter*, paquetes perdidos y *throughput*.

Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvo durante el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1.....	18
PRESENTACIÓN.....	18
1.1 INTRODUCCIÓN	18
1.2 MOTIVACIÓN	19
1.3 ALCANCE.....	20
1.4 OBJETIVOS	21
<i>1.4.1 General</i>	21
<i>1.4.2 Específicos</i>	21
CAPITULO 2.....	22
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	22
2.1 EVOLUCIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11	22
2.1.1 GRUPO DE ESTANDAR 802.11	23
2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11	24
2.2.1 <i>Capa Física</i>	24
2.2.2 <i>Capa de Enlace de Datos</i>	30
2.3 REDES WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS	33
2.3.2 <i>Ajuste de parámetros para WiFi a Larga Distancia</i>	35
2.3.3 <i>Consideraciones básicas para un enlace a larga distancia</i>	36
2.3.3.1 <i>Potencia en el enlace</i>	36
ALINEACIÓN CUANDO SE PUEDE VISUALIZAR EL OTRO EXTREMO DEL ENLACE	38
ALINEACIÓN CUANDO NO SE PUEDE VISUALIZAR EL OTRO EXTREMO DEL ENLACE.....	39
CAPÍTULO 3.....	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
MATERIALES.....	40
3.1 TARJETA ALIX	40
3.1.1 <i>Características de Tarjeta Alix</i>	40
3.1.1.1 <i>Partes de la Tarjeta Alix</i>	41
3.1.2 <i>Comparación de Tarjetas de Red Inalámbricas</i>	44
3.1.3 <i>Sistema Operativo Linux Voyage</i>	47
3.1.4 <i>Selección de Tarjeta Alix</i>	48
3.2 SOFTWARE DE SIMULACIÓN	49
3.2.1 <i>Estudio del software de simulación</i>	49
3.3 SELECCIÓN DEL SOFTWARE.....	58
3.4 SIRENET	58
3.4.1 <i>Características</i>	58

3.4.2	<i>Selección de Sirenet</i>	59
3.5	D-ITG.....	59
MÉTODOS		60
3.6	CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS	60
3.6.1	<i>Formateo de la Memoria de la Tarjeta Alix</i>	61
3.6.2	<i>Formatear la unidad Compact Flash.</i>	65
3.6.3	<i>Instalación del Sistema Voyage Linux en la Compact Flash</i>	66
3.6.4	<i>Configuración de las Interfaces en la Tarjeta Alix</i>	71
3.7	MODIFICACIÓN EN LAS TARJETAS ALIX PARA LARGAS DISTANCIAS	75
CAPÍTULO 4		78
PLANEACIÓN DE RED		78
4.1	ESTUDIO DE LUGARES DONDE SE VA A IMPLEMENTAR LA RED	78
4.1.1	<i>Fuerzas Especiales - Cerro Pilisurco– ESPE Latacunga</i>	79
4.2.2	<i>Escenario de estándar 802.11 b/g – 2 Nodos</i>	85
4.3	DISEÑO DE LA RED WILD	95
4.3.1	<i>Diseño</i>	95
4.3.2	<i>Selección de equipos y materiales</i>	103
4.3.3	<i>Planos de diseño</i>	104
4.3.4	<i>Cálculo de Propagación</i>	107
4.4	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED	110
4.4.1	<i>Requerimientos para realizar la instalación</i>	110
4.4.1.1	<i>Lugares</i>	110
4.4.1.2	<i>Utilización de Equipos</i>	111
4.4.1.3	<i>Suministro de energía</i>	113
4.4.1.4	<i>Alineación de las antenas</i>	115
4.4.2	<i>Instalación de Equipos</i>	116
CAPÍTULO 5		121
PRUEBAS MEDICIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		121
5.1	PRUEBAS Y MEDICIONES	121
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	122
5.2.1	<i>Nivel de señal del enlace y relación de la calidad del enlace</i>	122
5.2.2	<i>Corrección del alineamiento de las antenas</i>	124
5.2.3	<i>Ping normal entre las interfaces del enlace</i>	125
5.2.4	<i>Ping con mayor tamaño entre las interfaces del enlace</i>	125
5.2.5	<i>Medición en el rendimiento de un enlace</i>	126
5.3	INYECCIÓN DE TRÁFICO	128
5.3.1	<i>Configuración de D-ITG</i>	128

5.3.2	<i>Resultados Obtenidos</i>	133
5.4	ANÁLISIS DE GRÁFICAS	133
5.4.1	<i>Delay</i>	134
5.4.2	<i>Jitter</i>	137
5.4.3	<i>Paquetes Perdidos</i>	139
5.4.4	<i>Throughput</i>	141
CAPÍTULO 6		144
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		144
6.1	CONCLUSIONES	144
6.2	RECOMENDACIONES	146

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Partes de <i>stack</i> de protocolos de 802.11.....	24
Figura 2. 2 Esquema Capa Física	25
Figura 2. 3 División de la Capa PHY	25
Figura 2. 4 Ensanchamiento de Ancho de Banda.....	26
Figura 2. 5 Codificación de Barker	27
Figura 2. 6 Salto de Frecuencia en Espectro Expandido	28
Figura 2. 7 Detalle de un canal IEEE 802.11a.....	29
Figura 2. 8 Trama de Capa de Enlace de Datos	30
Figura 2. 9 Funcionamiento de Acceso CSMA/CA	32
Figura 2. 10 Nodo Oculto.....	35
Figura 2. 11 Potencia del enlace versus la distancia.....	36
Figura 2. 12 Alineación de la Antena.....	39
Figura 3. 1 Parte Superior de Tarjeta <i>Alix</i> [19]	42
Figura 3. 2 Parte Inferior de Tarjeta <i>Alix</i> [19]	43
Figura 3. 3 Plano de Tarjeta <i>Alix</i> 3D3 [19].....	43
Figura 3. 4 SR2.....	44
Figura 3. 5 R52H	45
Figura 3. 6 SR5.....	45
Figura 3. 7 XR2	45
Figura 3. 8 XR5	46
Figura 3.9 EMP – 8602+S	46
Figura 3. 10 WLM54A	46
Figura 3. 11 Arquitectura de ns-2.....	50
Figura 3. 12 Software de Organización de ns-3	52
Figura 3. 13 Características de la Tarjeta <i>Alix</i>	62
Figura 3. 14 Menú de Ayuda para Particionar.....	63
Figura 3. 15 Tabla de Particiones	63
Figura 3. 16 Eliminación de Particiones.....	63
Figura 3. 17 Modificación de Particiones.....	64
Figura 3. 18 Creación de Particiones.....	64
Figura 3. 19 Selección de Partición	64

Figura 3. 20 Creación de Número de Particiones	64
Figura 3. 21 Finalización de Creación de Particiones	65
Figura 3. 22 Desmonte de Tarjeta	65
Figura 3. 23 Cuadro de Desmontajes Incorrectos.....	66
Figura 3. 24 Archivo de <i>Voyage</i>	66
Figura 3. 25 Creación de un Nuevo Disco.....	67
Figura 3. 26 Selección de Tipo de Tarjeta.....	67
Figura 3. 27 Tabla de Bloques de Memoria	68
Figura 3. 28 Arranque de la tarjeta	68
Figura 3. 29 Configuración de Consola.....	69
Figura 3. 30 Tabla de Elección de Serial y Velocidad	69
Figura 3. 31 Detalle de la Configuración	70
Figura 3. 32 Confirmación de Configuración.....	70
Figura 3. 33 Finalización de Configuración	71
Figura 3. 34 Configuración de las Interfaces.....	71
Figura 3. 35 Interfaces de Estándares Tarjeta 1.....	72
Figura 3. 36 Configuración del Maestro.....	73
Figura 3. 37 Configuración de la Tarjeta 2.....	74
Figura 3. 38 Configuración de Esclavo	74
Figura 3. 39 Ventana de ficheros virtuales	75
Figura 3. 40 Configuración de <i>ACK-timeout</i>	76
Figura 3. 41 Configuración de <i>CTS-timeout</i> y <i>Slot-time</i>	76
Figura 3. 42 Visualización de valores modificados.....	77
Figura 4. 1 Enlace Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales	79
Figura 4. 2 Enlace Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga.....	80
Figura 4. 3 Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga	81
Figura 4. 4 Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales	81
Figura 4. 5 Lugar de Implementación Cerro Pilisurco	82
Figura 4. 6 Caseta de Alimentación Cerro Pilisurco	82
Figura 4. 7 Antenas Aledañas.....	83
Figura 4. 8 Factibilidad de Condiciones Climáticas.....	84
Figura 4. 9 Simulación en NS2 de 802.11b/g 2- nodos.....	87

Figura 4. 10 Paquetes Enviados vs Distancia (802.11b/g)	88
Figura 4. 11 Paquetes Perdidos vs Distancia	90
Figura 4. 12 Delay vs Distancia	91
Figura 4. 13 <i>Throughput</i> vs Distancia	95
Figura 4. 14 Provincia Tungurahua (derecha) y Provincia Cotopaxi (izquierda)	95
Figura 4. 15 Perfil del enlace Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales	97
Figura 4. 16 Enlace Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales	97
Figura 4. 17 Perfil del enlace Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga	99
Figura 4. 18 Enlace Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga.....	99
Figura 4. 19 Esquema Maestro- Repetidor – Esclavo	100
Figura 4. 20 Enlace Total de la Red	101
Figura 4. 21 Topología detallada de un segmento de red.....	102
Figura 4. 22 Esquema de Plano de Diseño	105
Figura 4. 23 Esquema de Conexiones de la Estación Repetidora	106
Figura 4. 24 Equipos Instalados	106
Figura 4. 25 Estudio de Campo	111
Figura 4. 26 Utilización de GPS	112
Figura 4. 27 Caseta de Alimentación en Pilisurco.....	113
Figura 4. 28 Caseta de alimentación en Pilisurco (interior)	113
Figura 4. 29 Centro de Alimentación en Brigada Patria	114
Figura 4. 30 Suministro de Energía en Brigada Patria	114
Figura 4. 31 Antena Directiva de Grilla	115
Figura 4. 32 Medidor de señal en radio <i>Ubiquiti</i>	116
Figura 4. 33 Instalación de Antena Directiva de grilla	116
Figura 4. 34 Secuencia de instalación de Equipos.....	117
Figura 4. 35 Montaje de Equipos en la torre	118
Figura 4. 36 Instalación de Antena Directiva de grilla Cerro Pilisurco	118
Figura 4. 37 Instalación de Equipo.....	119
Figura 4. 38 ESPE Latacunga.....	120
Figura 5.1 Radio <i>Ubiquiti Power Station 2-EXT</i>	122
Figura 5. 2 <i>Software</i> de alineación de las antenas	122
Figura 5. 3 Comando <i>iwconfig</i>	123

Figura 5. 4 Comando <i>iwlist eth2 scan</i>	123
Figura 5. 5 Potencia de Transmisión	124
Figura 5. 7 Nivel de Señal de Alineación	124
Figura 5. 8 Ping con nivel de señal de -59 dBm.....	124
Figura 5. 9 Comando <i>route -n</i>	125
Figura 5. 10 Ping a la estación esclavo desde la estación maestro	125
Figura 5. 11 Ping de estación esclavo hacia estación maestro	126
Figura 5. 12 Ping de estación esclavo hacia estación maestro (2).....	126
Figura 5. 13 Rendimiento de baja calidad	127
Figura 5. 14 Rendimiento máximo de la red	128
Figura 5. 15 Definición de flujo en emisor.....	129
Figura 5. 16 Configuración de emisor (2)	130
Figura 5. 17 Configuración de <i>Analyzer</i> en emisor	131
Figura 5. 18 Configuración del equipo receptor.....	131
Figura 5. 19 Configuración <i>Settings</i> en receptor	132
Figura 5. 20 <i>Delay</i> en <i>D-ITG</i>	135
Figura 5. 21 <i>Delay</i> en <i>GNUPlot</i>	136
Figura 5. 22 Canales en la banda de 2,4 GHz.....	137
Figura 5. 23 <i>Jitter</i> de la Red <i>WiLD</i>	138
Figura 5. 24 <i>Jitter GNUPlot</i>	139
Figura 5. 25 Paquetes Perdidos en <i>D-ITG</i>	140
Figura 5. 26 Paquetes Perdidos <i>GNUplot</i>	141
Figura 5. 27 <i>Throughput</i> de la Red <i>WiLD</i>	142
Figura 5. 28 <i>Throughput en GNUPlot</i>	143

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Grupo Estándar 802.11	23
Tabla 3. 1 Comparación de Tarjetas Inalámbricas para <i>WiFi</i> a larga distancia	44
Tabla 3. 2 Cuadro Comparativo ns-2 y ns-3.....	53
Tabla 3. 3 Protocolos de NCTUns.....	55
Tabla 3. 4 Comparación entre ns-2 y NCTUns	57
Tabla 4. 1 Coordenadas de los Puntos.....	79
Tabla 4. 2 Datos de Simulación.....	80
Tabla 4. 3 Modificación de Tiempos.....	84
Tabla 4. 4 Parámetros utilizados en la simulación 802.11 b/g – 2 nodos.....	86
Tabla 4. 5 Datos Paquetes Enviados según la Distancia	87
Tabla 4. 6 Datos Paquetes Perdidos según la Distancia	89
Tabla 4. 7 Delay según la Distancia	91
Tabla 4. 8 Datos para la Determinación del <i>Throughput</i>	92
Tabla 4. 9 Datos de <i>Throughput</i> según la Distancia.....	93
Tabla 4. 10 Resultados de Simulación Cerro Pilisurco-Fuerzas Especiales	96
Tabla 4. 11 Resultados de Simulación Cerro Pilisurco - ESPE Latacunga.....	98
Tabla 4. 12 Datos Georeferenciales.....	100
Tabla 4. 13 Flujo de Información Transmitida.....	103
Tabla 4. 14 Equipos y Materiales Empleados en los Enlaces de Red	103
Tabla 4. 15 Datos Obtenidos	110
Tabla 4. 16 Azimut y ángulo de elevación de los nodos	115
Tabla 5. 1 Parámetros en emisor	129
Tabla 5. 2 Parámetros del emisor	130
Tabla 5. 3 Parámetros definidos en equipo receptor	132
Tabla 5. 4 Cuadro de Resultados de D-ITG	133

CAPÍTULO 1

PRESENTACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Mediante el presente proyecto se analizará el desempeño de una red *WiFi* a larga distancia (*WiLD*) teniendo en cuenta la utilización del estándar IEEE 802.11. Con el estudio propuesto se desea mejorar el desarrollo de la calidad de vida de las personas que se encuentran habitando las áreas de las zonas rurales, debido a que estas zonas poseen una baja densidad de población por lo que no existen soluciones de conectividad óptimas, ya que la mayoría de los estudios sobre interconexión se encuentran enfocados hacia zonas urbanas e industriales.

Los enlaces punto a punto con equipos *WiFi* se han hecho ampliamente disponibles, debido a la implementación de varias redes con la utilización de antenas que poseen alta potencia para lograr alcanzar distancias de varios kilómetros, y así poder transferir datos de un sitio a otro con un gran desempeño de la red.

El presente proyecto permite tener una idea de los problemas prácticos a los que va a tener que enfrentarse al momento de la instalación del equipamiento inalámbrico en exteriores. Los mástiles y las torres de comunicación de radio son construcciones típicamente altas, diseñadas especialmente para sostener las antenas para la comunicación entre dos o varios puntos.

Es importante tener en cuenta la planeación de la implementación de una red inalámbrica a larga distancia; para lograr la definición de la misma es necesario realizar un plan detallado de implementación de la red inalámbrica. Un buen plan de implementación no sólo debería considerar la ubicación física del equipo inalámbrico o la tecnología y el fabricante seleccionados, sino también los recursos extra que se requieren para poner a funcionar una red.

Una red como se sabe, es un sistema intrínsecamente conectado de objetos o personas, las redes se encuentran en todas partes, es por eso que hoy en día el manejo de la información es imprescindible, la información electrónica ha tomado un gran auge a nivel mundial; pues a través de un sistema de comunicación la información generada es utilizada por los usuarios.

Las redes en la actualidad proporcionan muchas características para mejorar la productividad, reducir costos y permitir el intercambio de información útil. El tamaño del proceso de planeación depende de las necesidades que requieren las redes actuales y futuras, por ejemplo las redes pequeñas refiriéndose a una cantidad mínima de nodos ubicados en la misma área física, no solicitan de una planeación extensa; por el contrario las planeaciones amplias se dan en aquellas redes de muchos nodos a situarse en diferentes espacios, son redes que probablemente demandarán nodos adicionales en el futuro.

Con los resultados obtenidos, se deja abierta la posibilidad de probar y analizar diferentes características y comportamiento de las redes y no solamente la ocupación de los enlaces.

1.2 MOTIVACIÓN

La importancia de proporcionar la conexión a Internet en zonas menos pobladas, debido a que las soluciones tradicionales como cable o fibra óptica se encuentran fuera del alcance de las zonas rurales. La tecnología *WiFi (WirelessFidelity)* de interconexión óptima y bajo costo puede llegar a regiones donde la geografía del terreno permite solo la utilización de una red inalámbrica a larga distancia.

En el mercado existen muchas soluciones y formas de equipamiento para un *router* inalámbrico *WiFi* usado para la interconexión de redes inalámbricas considerando enlaces exteriores e interiores. La mayoría de ellas son soluciones costosas e ineficientes, pues el software del equipo brinda solo la información suficiente para la configuración de los mismos, o por otra parte algunos equipos no cumplen con los requisitos de compatibilidad entre fabricantes. Los problemas que pueden surgir al seleccionar una de estas opciones comerciales propietarias como; la dependencia tecnológica de un proveedor, discontinuidad de los productos y costos de licencia hacen que se adopte una elección genérica que soporte estándares abiertos y software libre. Por ello han surgido iniciativas para realizar enlaces de larga distancia como las Placas SBC¹, conformadas por tarjetas de red inalámbricas y otros insumos con los cuales se puede armar un *router WiFi* por un precio generalmente menor utilizando software libre tales como: versiones del sistema operativo *Linux*.

Mediante las modificaciones realizadas al estándar 802.11, con el cambio de algunos parámetros de configuración en la capa de enlace de datos MAC, se puede llegar con un enlace inalámbrico de larga distancia a regiones donde las tecnologías cableadas resultarían costosas.

1.3 ALCANCE

El proyecto constó de una implementación de una Red *WiFi* a una distancia mínima de 50 km en una zona rural de la Región Sierra.

Al concluir el presente proyecto se obtuvo el estudio del desempeño de una red *WiFi* a larga distancia en zonas rurales en la Región de la Sierra, previamente analizando los *software* de simulación como por ejemplo el *Network Simulator 2 (ns2)*, *Network Simulator 3 (NS3)* y el *NCTUns* para determinar el desempeño que posee la Red.

¹Placas SBC, Single board computers (SBCs) son computadoras completas construidas en una sola tarjeta de circuito impreso (PCB, *printed circuit board*). Ellas incluyen microprocesador, memoria RAM, puertos de entrada y salida. Placas SBC, <http://aries.com.es/es/industrial/electronica/digitalizacion-de-seniales/placas-procesadoras-y-sbc/id/76>, 14 de Septiembre del 2010.

Luego de la implementación de la Red se realizaron pruebas de inyección de tráfico utilizando el *software*, de distribución gratuita, D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) el cual permite analizar el tráfico y la Calidad de Servicio QoS que posee la red mediante la obtención de gráficas de *throughput*, *jitter*, *delay* y *packet loss*.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

- Se analizó el desempeño de una Red con tecnología *WiFi* para largas distancias en un ambiente rural de la Región Sierra.

1.4.2 Específicos

- a. Se estudio los elementos de la capa MAC del estándar IEEE 802.11 para larga distancia
- b. Se analizó el funcionamiento de los equipos disponibles en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de la ESPE.
- c. Se determinó los sitios para la implementación del enlace punto a punto.
- d. Se planificó la Red *WiFi*.
- e. Se identificó que software es el más indicado para realizar la simulación del desempeño de la red *WiFi*.
- f. Se realizó la implementación de la red *WiFi* en una zona rural de la región Sierra, para poder determinar de mejor manera todas las variables del desempeño de la red.
- g. Se realizó las pruebas pertinentes de la red *WiFi* implementada
- h. Se analizó resultados y efectuar el estudio pertinente.

CAPITULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Evolución del Estándar IEEE 802.11

El estándar 802.11 fue creado para sustituir a las capas físicas y MAC de Ethernet 802.3. En otras palabras, *WiFi* y Ethernet son redes iguales que se diferencian en el modo en que el ordenador o terminal accede a la red, Ethernet mediante cable y *WiFi* mediante ondas electromagnéticas. Esta característica las hace compatibles.

En el año de 1997 se presentó por primera vez el estándar para redes inalámbricas el cual pertenece a la familia IEEE 802, se definen especificaciones para la tecnología de redes de área local (LAN). Las redes 802.11 pertenecen al área de redes inalámbricas que difieren de las redes Ethernet por la frecuencia de operación de 2,4 GHz con niveles de transmisión de datos de 1 a 2 Mbps [1].

En el 2000, la que aún se denominaba WECA (*Wireless Ethernet Compability Alliance*) aceptó como estándar la norma IEEE 802.11b. El nombre era muy poco comercial así que la asociación contrata a la empresa de publicidad *Interbrand* para que cree un nombre mucho más fácil de recordar, algo corto y simple. Las propuestas fueron varias: “*Prozac*”, “*Compaq*”, “*Oneworld*”, “*Imation*” y, evidentemente, al estándar 802.11b se le otorgó un nombre más comercial como es; “*WiFi*” la abreviación de *Wireless Fidelity*

A lo largo del desarrollo de las comunicaciones entre computadoras se han ido perfeccionando una serie de protocolos que estandarizan las comunicaciones en la Red Local, siendo *Ethernet* uno de los más populares hoy en día para las redes cableadas.

WiFies una organización comercial que prueba y certifica que los equipos inalámbricos cumplan con los estándares 802.11.

Desde entonces varios organismos internacionales han desarrollado una amplia actividad en la estandarización de normativa de WLAN y han generado un abanico de nuevos estándares. En Estados Unidos de América el organismo IEEE se encarga de los estándares 802.11 y sus variantes (b, g, a, e, h, etc) y en Europa el organismo relacionado es el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) con sus actividades en Hiperlan-BRAN (*High Performance Radio Local Area Network Broadband Radio Access Networks*).

2.1.1 GRUPO DE ESTANDAR 802.11

En la Tabla 2.1 se observa los estándares pertenecientes a la familia 802.11 y sus principales características.

Tabla 2. 1Grupo Estándar 802.11

GRUPO DE TRABAJO	CARACTERÍSTICAS
IEEE 802.11a	Tasas de hasta 54 Mbps en 5 GHz
IEEE 802.11b	Mejoras sobre la norma 802,11 para tasas de hasta 11 Mbps
IEEE 802.11d	Itinerancia internacional
IEEE 802.11e	Mejoras para el soporte de calidad de servicio
IEEE 802.11f	Protocolo para la comunicación entre puntos de acceso
IEEE 802.11g	Tasas de hasta 54 Mbps en 2,4 GHz (compatible con 802,11b)
IEEE 802.11h	Trabaja en 5 GHz y propone extensiones para la compatibilidad con Europa
IEEE 802.11i	Mejoras en seguridad
IEEE 802.11j	Extensiones para Japón
IEEE 802.11k	Medidas en los recursos radio

GRUPO DE TRABAJO	CARACTERÍSTICAS
IEEE 802.11n	Mejoras en velocidades de transmisión
IEEE 802.11p	Uso de 802.11 en vehículos
IEEE 802.11r	Itinerancia rápida
IEEE 802.11s	Redes GRID inalámbricas
IEEE 802.11t	Predicción de rendimiento en redes inalámbricas
IEEE 802.11u	Uso conjunto con otras redes no-802

2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11

La arquitectura del Estándar 802.11 posee especificaciones definidas por la IEEE para todos los estándares de la familia 802.11 como se puede evidencia en la Figura 2.1, los cuales se encuentran abarcando la capa física y la subcapa de acceso al medio que se encuentran en la capa de enlace del modelo OSI [2].

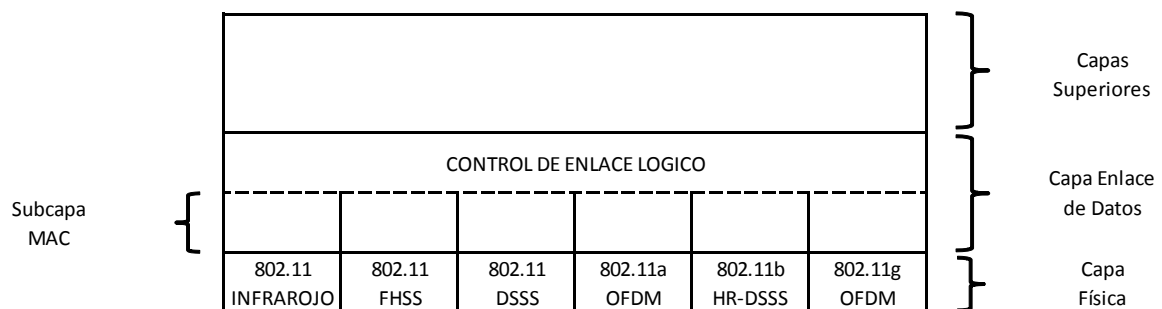


Figura 2. 1Partes de *stack* de protocolos de 802.11

2.2.1 Capa Física

En la capa física se llevan a cabo las funciones de detección de portadora, transmisión y recepción. Se divide en 2 subcapas: la *Physical Layer Convergente Procedure* (PLCP) y la *Physical Medium Dependent* (PMD).

En el emisor, se introduce la trama MAC a transferir en la cola. A ésta se le añade un preámbulo y una cola, se codifica y se envía a la línea de transmisión, para ser emitida. En la recepción, la señal recibida se filtra para minimizar el ruido, se

decodifica y se almacena en la trama. Cuando ésta concuerda con la trama de un paquete (preámbulo más datos más cola), se pasa a la MAC para su validación como se indica en la Figura 2.2 [3].

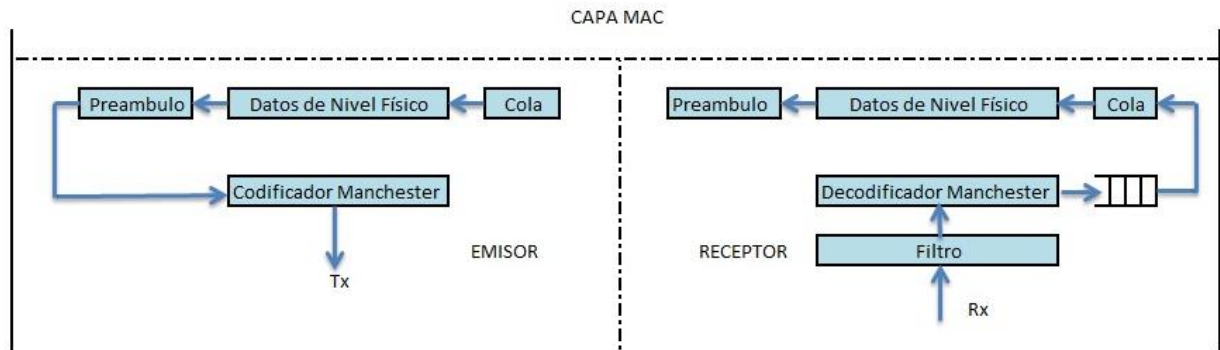


Figura 2. 2 Esquema Capa Física

2.2.1.1 Subcapas de Capa Física

El uso de ondas de radio requiere una compleja capa PHY (*Physical Layer*) dividida en; PLCP (Procedimiento de Convergencia de Capa Física) y PMD (Dependiente del medio físico) como hace referencia la Figura 2.3 [4].

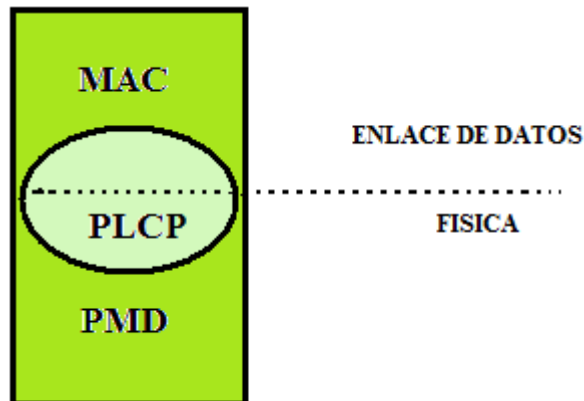


Figura 2. 3 División de la Capa PHY

- **PLCP.-** Esta capa se encarga de relacionar *MPDUs* o unidades de datos MAC en un formato de tramas susceptibles de ser transmitidos o recibidos entre distintas estaciones en el medio, agregando un número de campos a la trama para su transmisión.
- **PMD.-** La subcapa PMD provee un medio de enviar y recibir datos entre dos o más estaciones. Dado que es dependiente del medio, es esta subcapa la que define todo lo concerniente a la banda ISM de 2,4 GHz [5].

2.2.1.2 Tecnologías de la Capa Física del Estándar IEE 802.11

Las tecnologías utilizadas en la capa física en el IEEE 802.11 son tres: DSSS, FHSS y OFDM.

- **DSSS (*DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM*)**

El proceso DSSS se lleva a cabo con eficacia multiplicando una portadora de RF y un pseudo-ruido (PN) de la señal digital. En primer lugar el código PN se modula en la señal de información a través de una de varias técnicas de modulación (por ejemplo, BPSK, QPSK, etc.) Se utiliza un mezclador doblemente balanceado para multiplicar la portadora de RF y la señal PN información modulada. Este proceso hace que la señal de RF para ser sustituida por una señal de gran ancho de banda espectral con el equivalente de una señal de ruido.

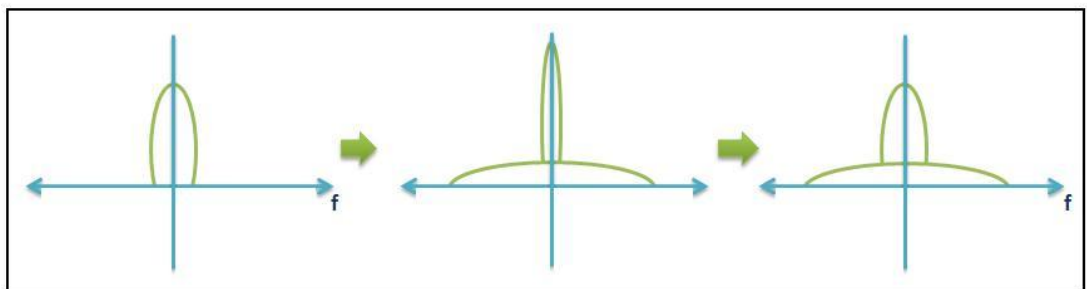


Figura 2. 4 Ensanchamiento de Ancho de Banda

En la Figura 2.4 se puede observar, de izquierda a derecha, el espectro de la señal de información, la señal ensanchada a la que se le ha añadido interferencias, y por último el proceso inverso donde la señal de información es recuperada y las interferencias reducidas.

La técnica de transmisión DSSS utiliza la secuencia de *Barker*, donde cada bit se transmite como 11 *chips*. Este proceso emplea un ancho de banda más extenso del requerido para transmitir datos en banda estrecha, con el fin de reducir el efecto de fuentes de interferencia y la necesidad de retransmitir los datos, permitiendo su recuperación así una parte estén dañados Utiliza dos técnicas de modulación, BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), para tener una velocidad de transmisión de 1 Mbps y QPSK (*Quadrature PSK*) para una velocidad de transmisión de 2 Mbps [6]. A continuación se puede observar en la Figura 2.5 como se utiliza la secuencia de Barker para codificar la señal original a transmitir.

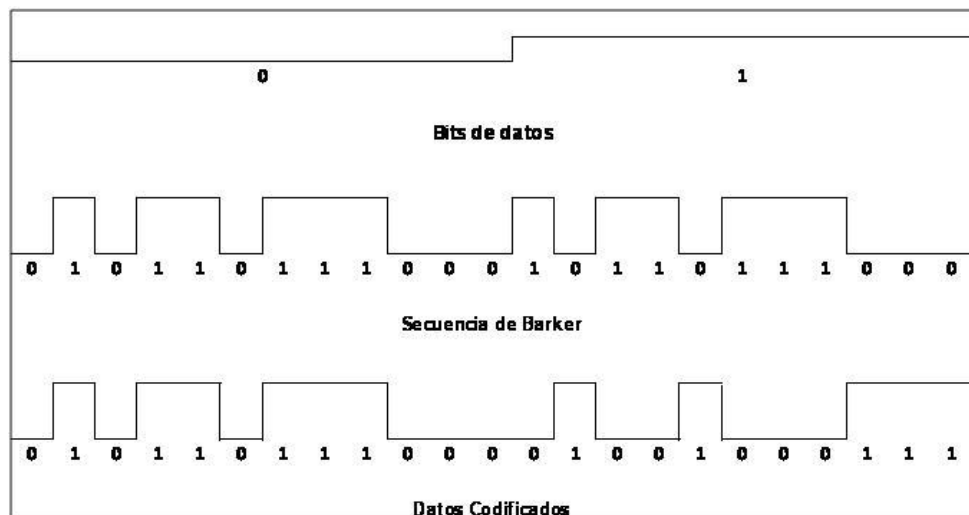


Figura 2. 5 Codificación de Barker

- **FHSS (*FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM*)**

Se transmite una parte de la señal de información en una frecuencia dentro del ancho de banda asignado y durante un periodo de tiempo, conocido como *dwell time*, que es inferior a 400 milisegundos. Una vez ha pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo otra porción de la señal. Así, la

señal de información se va transmitiendo en tramos a frecuencias distintas durante un intervalo de tiempo muy pequeño.

Cada una de las transmisiones a una frecuencia concreta se realiza utilizando una portadora de banda estrecha que va cambiando (saltando) a lo largo del tiempo como se puede ver en la Figura 2.6.

El orden de los saltos en frecuencia que realiza el emisor lo determina una secuencia pseudoaleatoria. El patrón de saltos (*hopping code*) debe ser conocido tanto por el emisor como por el receptor. Es necesario que se mantenga una buena sincronización de saltos entre los dos extremos (emisor y receptor).

El cambio periódico de frecuencia reduce la interferencia producida por otra señal que se esté transmitiendo en la misma banda, siempre que no estén utilizando en el mismo momento la misma frecuencia. Esto es una ventaja respecto a los sistemas DSSS [7]. El resto de usuarios externos a la comunicación que reciben la señal FHSS la tratan como un ruido impulsivo de corta duración. En el IEEE 802.11 se define que se puede utilizar esta tecnología usando la modulación PSK y con una velocidad de transmisión inferior a 2 Mbps.

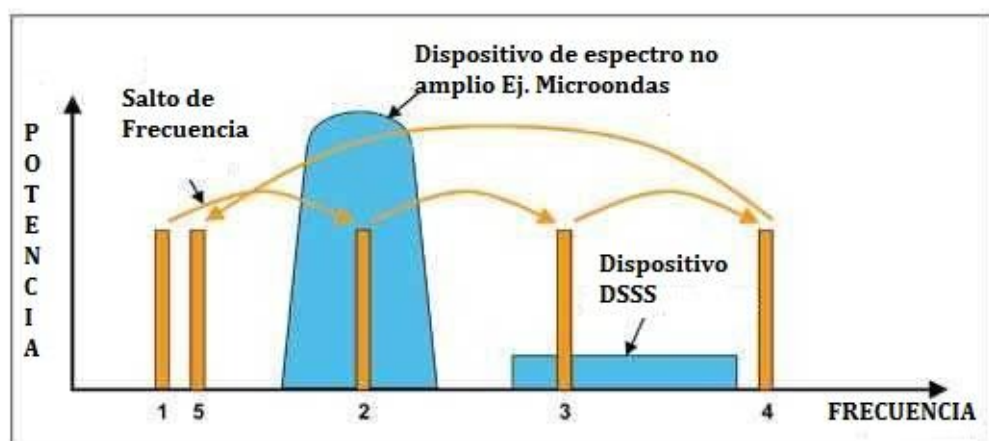


Figura 2. 6 Salto de Frecuencia en Espectro Expandido

- **OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)**

Esta técnica es utilizada en las extensiones IEEE 802.11a y IEEE 802.11g. Básicamente consiste en dividir un canal en muchos subcanales y codificar una porción de señal en cada subcanal en paralelo. De esta forma se consigue llegar a velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps.

La frecuencia portadora se subdivide a su vez en 52 subportadoras solapadas haciendo un uso muy eficiente del espectro radioeléctrico. De las 52, 48 se utilizan para transmitir datos mientras que las 4 restantes se utilizan para alinear las frecuencias en el receptor.

En la Figura 2.7 se puede ver a la izquierda los 8 canales en los que se divide la parte baja del espectro de 5 GHz utilizados por el IEEE 802.11a, mientras que a la derecha se ve cómo se ha subdividido un canal en 52 subcanales, con 1 portadora por subcanal. Cada uno de los 8 canales tiene un ancho de banda de 20 MHz, mientras que el de cada subcanal es 300 kHz [8].

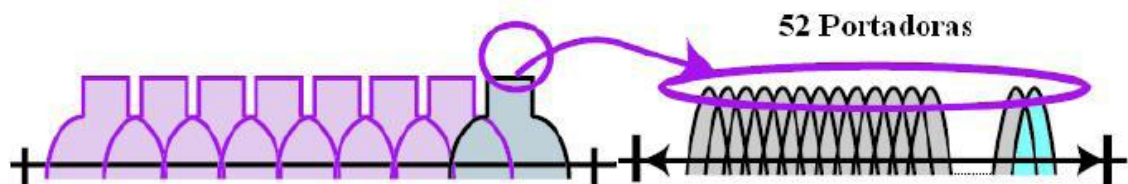


Figura 2.7 Detalle de un canal IEEE 802.11a

En cambio, el IEEE 802.11g solo dispone de 3 canales no superpuestos en la banda ISM. Los subcanales son ortogonales entre ellos, de manera que se cancelan las interferencias que pueda haber entre las subportadoras.

Según la modulación que se utilice, la velocidad de transmisión puede oscilar entre los siguientes valores: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

Una de las ventajas de la técnica OFDM respecto a DSSS o FHSS es que es más robusta respecto a las interferencias multirrayecto, que empiezan a ser un problema serio cuando se sobrepasa la velocidad de 4 Mbps.

2.2.2 Capa de Enlace de Datos

La Capa de Enlace de Datos es la encargada de la parte física de la transmisión de datos y de la detección de errores, además de la topología de la red y del control de flujo, es decir, traduce los mensajes de la capa de red en bits que es recibida mediante la transmisión de la Capa Física, permitiendo así lograr que los mensajes lleguen a sus destinatarios usando la dirección física *MAC Address* [9].

Trama de la Capa de Enlace de datos

Los mensajes son divididos en marco de datos es decir en *Data Frames* como se muestra en la Figura 2.8 [10]. Cada trama tiene un campo de control que define la versión del protocolo 802.11, el tipo de trama y algunos indicadores más. Cada trama tiene también la dirección MAC del origen y del destino, el número de secuencia de la trama y una secuencia de redundancia para detección de errores, como se explica a continuación.

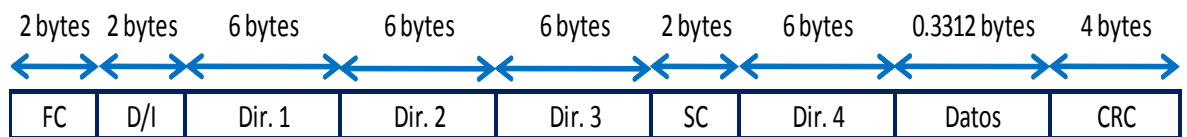


Figura 2. 8 Trama de Capa de Enlace de Datos

- **FC (*Frame Control*):** indica el tipo de trama: beacon, control, datos o gestión.
- **D/I (*Duration/Connection ID*):** tiempo en que durará la transmisión satisfactoria de la trama. Permite identificar la conexión en el caso de ser una trama de control de asociación.
- **Direcciones:** depende del contexto:
 - Dirección de fuente y destino.
 - Estación transmisora o receptora.
- **SC (*Sequence Control*):** usado en fragmentación.

2.2.2.1 Subcapas de la Capa de Enlace de Datos

La Capa de Enlace de Datos está conformado por dos subcapas: La Capa de Control del Enlace Lógico (LLC) y la Capa de Control de Acceso al Medio (MAC).

- **Capa de Control del Enlace Lógico (LLC):** es la encargada de transmitir y administrar las tramas entre dos estaciones sin tener que pasar por ningún nodo intermedio. Permite manejar el control de errores, control de flujo, entramado y direccionamiento de la subcapa MAC. Soportando así los servicios orientados al acceso múltiple.
- **Capa de Control de Acceso al Medio (MAC):** es el encargado del control de acceso al medio físico de la red. Permite la identificación de varios dispositivos sin poseer repetición entre las estaciones que cooperan para determinar cuáles son las que acceden a la red.

2.2.2.2 Subcapa MAC

Se encarga de gestionar y mantener las comunicaciones entre las estaciones 802.11. Coordina el acceso a un canal de radio compartido, utilizando la capa física (PHY) 802.11b o 802.11g, para la detección de la portadora, transmisión y recepción de las tramas [11].

- **Acceso al Medio**

El Estándar 802.11 accede al medio en función de coordinación distribuida (DCF)², que utiliza el conocido método de Acceso Múltiple por Censado de Portadora con Prevención de Colisiones, (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance, CSMA/CA).

El acceso al medio requiere que cada nodo inalámbrico escuche el medio compartido para conocer si otros nodos se encuentran transmitiendo. Mientras que

²DCF, es la técnica fundamental de la MAC en el estándar IEEE 802.11 el cual emplea al algoritmo de CSMA/CA y un sentido del operador utilizando marcos de control RTS y de CTS”, DCF, http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Distributed_Coordination_Function, 5 de Julio del 2010.

el canal se encuentre desocupado, el nodo puede transmitir, caso contrario, el nodo escucha hasta que la transmisión finalice, y entra en un período de espera aleatorio para luego volver a ejecutar el procedimiento.

La recepción de los paquetes en el DCF requiere de confirmaciones por parte del destino. Existe un corto período de tiempo entre el envío del ACK por parte del destinatario llamado *Short Inter Frame Space*³, SIFS. En 802.11, los paquetes de confirmación ACK tiene prioridad frente a cualquier otro tráfico, logrando una de las características sobresalientes que es la gran velocidad de las confirmaciones. Cualquier transmisión distinta a un ACK deberá esperar por lo menos un DIFS (*DCF Inter Frame Space*⁴) antes de transmitir algún dato. Si el transmisor detecta un medio ocupado nuevamente, vuelve al tiempo de *BackOff* pero reduciendo el tiempo de espera. Así se repetirá hasta que el tiempo de espera llegue a CERO donde se habilita al nodo a transmitir, luego de que termine la próxima transmisión [12]. Estos tiempos se pueden apreciar en la Figura 2.9.

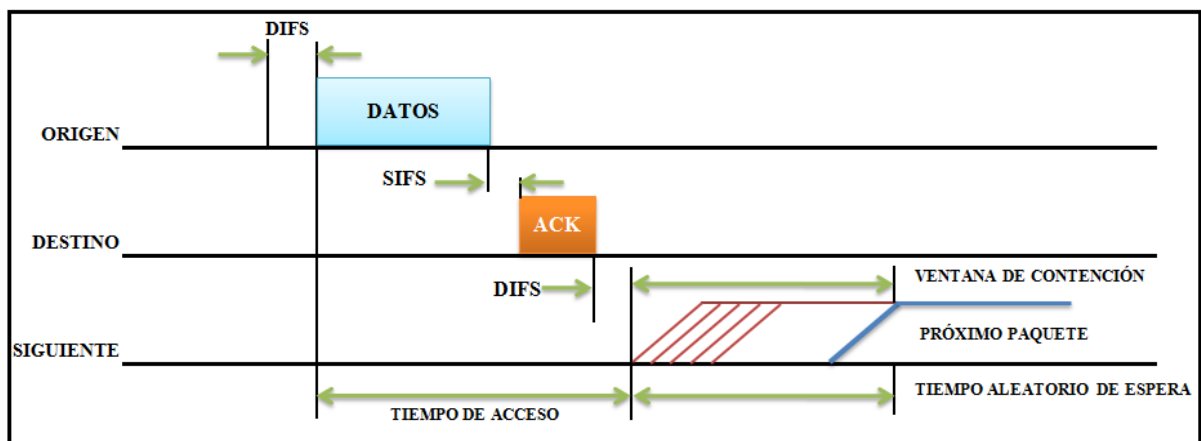


Figura 2. 9 Funcionamiento de Acceso CSMA/CA

³SIFS, "Tiempo fijo que define la separación entre la recepción del paquete de la transmisión de su ACK en el receptor", SIFS, <http://ocw.upm.es/ingenieria-telematica/redes-y-servicios-de-radio/contenidos/rsrd-OCW/web-05-06/wlan-2.pdf>, 6 de julio de 2010

⁴DIFS. Tiempo que cada estación espera una vez que detecta que el canal ha quedado libre., DIFS, <http://ocw.upm.es/ingenieria-telematica/redes-y-servicios-de-radio/contenidos/rsrd-OCW/web-05-06/wlan-2.pdf>, DIFS, 6 de julio de 2010

2.3 REDES *WiFi* PARA LARGAS DISTANCIAS

Desde el 2001, una de las tecnologías que se ha tomado en consideración muy seriamente para las comunicaciones de largas distancias es el estándar IEEE 802.11, popularmente llamada *WiFi*; si bien este estándar no se concibió para redes extensas, sus indudables ventajas de costo, uso de frecuencias libres de licencia y gran ancho de banda, han despertado el interés de diversos agentes tecnológicos de países en desarrollo.

2.3.1 Limitaciones de la Subcapa MAC

Se pueden extraer tres tipos de limitaciones: el temporizador de espera de los ACKs, la definición de tiempos relacionados con el *Slottime*, y el cálculo del vector que se encarga de controlar el tiempo que se debe esperar cuando el canal está reservado para la detección de portadora virtual (NAV) [13].

- ***ACKtimeout***: es el tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK una vez que ha terminado la transmisión de un paquete.

Para que una comunicación *WiFi* funcione a una determinada distancia se tiene que cumplir que el *ACKtimeout* sea mayor que el tiempo de propagación de ida y vuelta más el SIFS, un tiempo fijo que define la separación entre la recepción del paquete de la transmisión de su ACK en el receptor. No obstante, el estándar no da un valor claro a este parámetro, y los equipos *WiFi* del mercado varían mucho en su implementación del *ACKtimeout*; algunos sistemas tienen un valor por defecto de aproximadamente DIFS+SIFS pero que se puede modificar, y otras tienen valores no modificables pero más grandes.

Cuando una estación intenta enviar un paquete a otra que está demasiado distante como para recibir de ella el ACK antes de que transcurra el *ACKtimeout*, se interpretará que la transmisión falló y se retransmitirá; de igual manera sucede en cada retransmisión, cada paquete se retransmitirá el máximo número de retransmisiones antes de descartarse y dejar paso al siguiente. La capa *WiFi* de la estación transmisora supondrá que no logró

mandar el paquete, pero de hecho lo probable es que hayan llegado correctamente varias copias de éste, de las que la primera se pasará a la capa superior en el receptor. El resultado es que el enlace funciona, pero con un rendimiento ínfimo debido a que todo se retransmite varias veces.

- **CTS:** que significa *Clear to Send* lo que 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 evitar colisiones en el mismo.
- **Slottime:** Los valores de Slottime, SIFS y DIFS imponen restricciones al funcionamiento del 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.

CSMA/CA en un entorno inalámbrico y celular presenta una serie de problemas como son: Nodos Ocultos y Nodos Expuestos.

- **Nodos Ocultos.-** Se considera como “nodo oculto” a la situación donde no todas las estaciones pueden escucharse como se aprecia en la Figura 2.10, en IEEE 802.11 se emplea el mecanismo RTS/CTS (*Request to Send/Clear to Send*), en este mecanismo la detectora de portadora virtual se basa en que los nodos puedan conocer el tiempo durante el que el canal va a permanecer ocupado para evitar colisiones entre nodos ocultos; no obstante, ese mecanismo funciona si el cómputo del NAV corresponde con el tiempo que verdaderamente el canal va a permanecer ocupado.

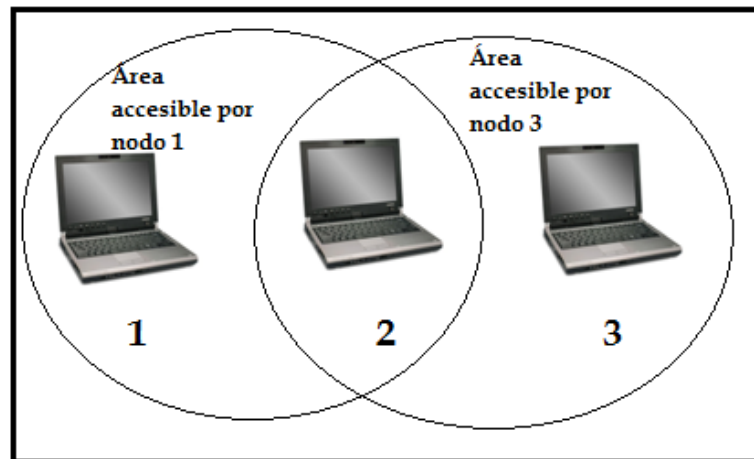


Figura 2. 10 Nodo Oculto

- **Nodos expuestos:** Una estación cree que el canal está ocupado, pero en realidad está libre pues el nodo al que oye no le interferiría para transmitir a otro destino.

La solución que propone 802.11 es MACA (*MultiAccess Collision Avoidance*). Según este protocolo, antes de transmitir el emisor envía una trama RTS (*Request to Send*), esta trama es un pedido de permiso para enviar información a un nodo y empezar la transmisión siempre y cuando el mismo reciba un CTS del destinatario indicando que el canal está libre.

2.3.2 Ajuste de parámetros para *WiFi* a Larga Distancia

Como se sabe el diseño inherente del estándar 802.11 ha provocado que los dispositivos inalámbricos se limiten con respecto al rango de distancia, es por eso que se ha realizado cambios para que de esta manera existan mayores aplicaciones para larga distancia usando el estándar 802.11.

El ajuste de parámetros como el *Slot Time* y el *ACK time-out* es lo que permite que hayan implementaciones para mayores alcances con estos dispositivos. Además de estos ajustes, se deben tomar en cuenta medidas en los dispositivos *WiFi* como son; potencia, ganancia de las antenas, pérdidas en cables de antena,

sensibilidad del receptor y el efecto del tiempo de propagación de las señales de radio [14].

2.3.3 Consideraciones básicas para un enlace a larga distancia

2.3.3.1 Potencia en el enlace

Para conseguir un buen funcionamiento en una WLAN la suma de la potencia de emisión más las pérdidas de propagación y la sensibilidad del receptor debe ser mayor que 0. El sobrante nos indicará el margen de funcionamiento que tiene el sistema. Un buen radio enlace debería tener de 6 a 10 dB de margen, es por eso que se analiza la Figura 2.11 que muestra la relación de potencia versus la trayectoria en un radioenlace, donde se concluye que para llegar al receptor con un margen adecuado se puede utilizar cualquiera de las siguientes técnicas [15]:

- a) Aumentar la ganancia de las antenas
- b) Disminuir las pérdidas en los cables de antena
- c) Mejorar la sensibilidad del receptor
- d) Alineación de las antenas

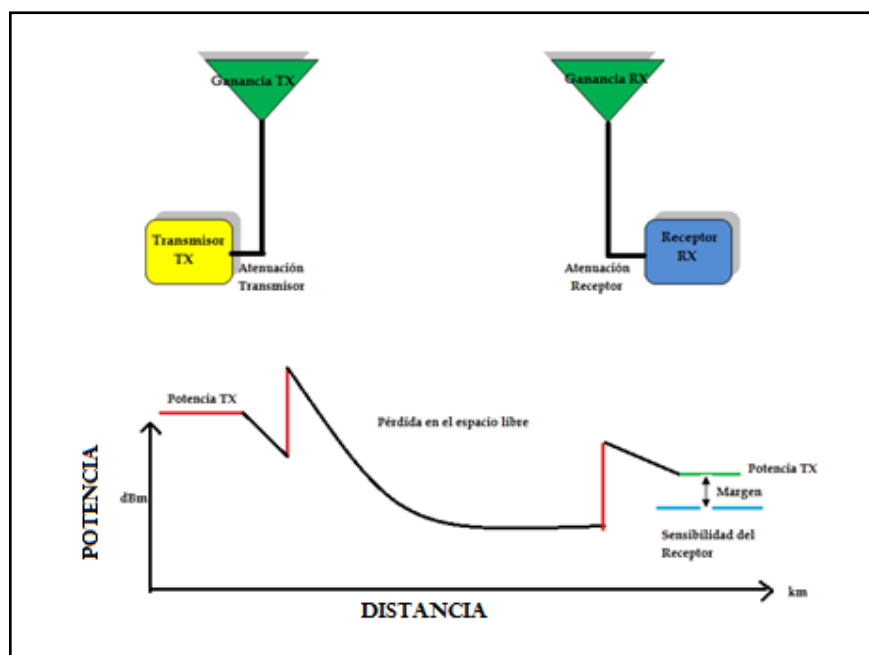


Figura 2. 11 Potencia del enlace versus la distancia

a) Ganancia en las antenas

El aumento de potencia no sería la forma más óptima de mejorar la transmisión pues se tiene un límite de potencia impuesto por la ley, es por eso que se recurre a aumentar la ganancia en las antenas, que es la forma más efectiva para mejorar el alcance. Para esto el requisito más importante es que el radio a utilizar esté dotado de conectores que permitan utilizar una antena externa. La ganancia de las antenas determina la calidad final del enlace, así como el tipo de antena elegida para el mismo [16].

b) Pérdidas en los cables

La disminución de las pérdidas en los cables de antena sigue siendo importante, y la manera más fácil de conseguirlo es colocar el radio en el exterior, pegado de la antena, para lo cual se requiere una caja a prueba de intemperie y, posiblemente, suministrar la energía al radio mediante la técnica de PoE (*Power over Ethernet*)⁵ [17].

- **Calidad de los conectores.-** a la hora de realizar las conexiones y soldaduras de los conectores, es preferible utilizar herramientas adecuadas para evitar pérdidas de la señal y ganar en estabilidad del enlace [16].
- **Longitud y calidad del *pigtail*.**- el *pigtail* es un cable de corta longitud que en un extremo tiene un tipo de conector que irá conectado a la tarjeta y en el otro extremo tiene un conector al cual conectaremos el cable coaxial. Este conector suele ser de tipo N. Se debe tomar en cuenta que el *pigtail* mientras más corto y de mejor calidad, menor será la pérdida de señal. Es recomendable que el *pigtail* no supere los dos metros de longitud pues 20 cm son suficientes [16].

⁵PoE (Power over Ethernet o Corriente sobre la Ethernet), es una tecnología para redes locales alambradas (LAN) basadas en Ethernet, que permite que la energía requerida sea transmitida por la red de datos en vez de cables de poder. PoE, <http://www.gestiopolis.com/delta/term/TER279.html>, 05 de Agosto del 2010.

c) Sensibilidad del receptor

La sensibilidad de los receptores, es definida por el estándar como el nivel de señal recibida suficiente para mantener la tasa de error de bit $BER < 10^{-5}$.

Mejorar la sensibilidad del receptor significa escoger un modelo de radio que tenga mejores prestaciones y buscar una opción para trabajar a velocidades de transmisión más bajas, donde la sensibilidad es mejor [18].

Esta consideración hace necesario trabajar con un cierto margen de señal por encima de la sensibilidad en recepción para que el enlace sea realmente estable. Partiendo de la experiencia propia en América Latina, y algunas experiencias reportadas por medios informales se puede establecer ese margen empíricamente en unos 20dB.

d) Alineación de las antenas

Después de los otros factores tomados en cuenta ya mencionados, se debe enfocar en métodos para que en distancias grandes se permita alinear las antenas de forma correcta[18].

Alineación cuando se puede visualizar el otro extremo del enlace

Para obtener la alineación entre dos puntos se debe constatar que se está utilizando la misma polarización⁶ en ambos extremos, configurar los equipos ya sea como AP y cliente o en modo puente y alinear visualmente las antena tomando en cuenta que se deben alinear que algunos tipos de antenas tienen lóbulos laterales y puede ocurrir que se hayan alineado en uno de ellos y no en el lóbulo principal como si evidencia en la Figura 2.12.

⁶Polarización, La polarización describe la dirección del vector del campo eléctrico. Polarización, <http://wndw.net/download.html#spanish> , 05 de Agosto del 2010.

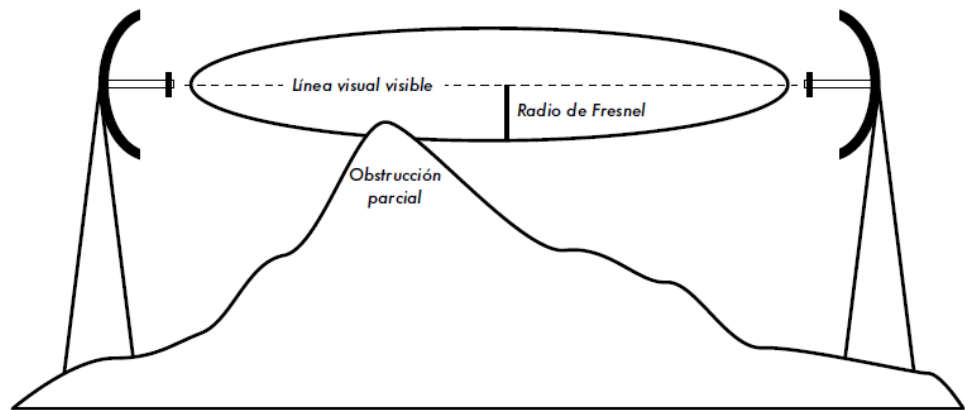


Figura 2. 12 Alineación de la Antena

La clave para lograr una alineación de las antenas exitosa en un enlace a larga distancia es la comunicación es decir; para modificar las variables del enlace se necesita que existan en cada extremo equipos adecuados dotados de algún medio de comunicación ya sea como un teléfono celular o radio de dos vías, además de un software que permita medir la señal recibida para un ajuste fino, buscando el punto de recepción máxima, y realizar la configuración previa de los equipos y pruebas que indiquen que los dos nodos puedan conectarse, ya sea enviando archivos o tráfico de datos.

Alineación cuando NO se puede visualizar el otro extremo del enlace

Además de las consideraciones anteriores la alineación de las antenas se la realizará por medio de un software que mida la intensidad de la señal recibida desde el transmisor remoto mediante un programa.

Sin embargo, en enlaces muy largos este método puede fallar porque la intensidad de la señal *WiFi* no es constante y se esparce sobre 20 MHz. Además, el software solo puede mostrar la intensidad de la señal cuando ha logrado decodificarla, y para esto tiene que estar recibiendo una señal suficientemente fuerte. La mejor opción para alinear las antenas el uso de un generador de señales en un extremo y un analizador de espectros en el otro.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

3.1 TARJETA ALIX

La Tarjeta *ALIX* forma parte de un software *beta-test*⁷ y fue 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. Los beneficios de su bajo costo y dimensiones así como también la posibilidad de portar el sistema operativo *Linux* hacen que esta tarjeta inalámbrica se pueda montar para este tipo aplicaciones.

La principal ventaja de usar este tipo de sistemas empotrados es la disminución en el consumo de energía del *router*. Una tarjeta *Alix Board* consume alrededor de 5W y 12V DC.

3.1.1 Características de Tarjeta Alix

La tarjeta a utilizarse en el presente proyecto de tesis es la tarjeta *Alix 3D3* como se observa en el Anexo 1, la misma que consta con las siguientes características [19]:

⁷**Beta-Test**, es el paso o procedimiento en donde un grupo de personas (los betatesters) evalúan un software en búsqueda de errores e irregularidades antes de que salga definitivamente al mercado. **Beta-Test**, <http://www.alegsa.com.ar/Dic/betatest.php>, 25 de septiembre del 2010.

- Procesador AMD Geode LX, frecuencia de 500 MHz.
- DRAM: Memoria de Acceso Remoto Dinámico de 256 KB.
- Almacenamiento: el sistema operativo y las aplicaciones son almacenadas en una *Compact Flash*.
- Conectividad: Canal *Ethernet* (10 / 100 Mbits/seg.), ranuras miniPCI para tarjetas inalámbricas y otro tipo de expansiones.
- Entrada/Salida: puerto serial (DB9 male), puerto USB dual, VGA, salida de audio / entrada de micrófono.
- Alimentación: 12 V en DC y 5 W de potencia.
- Encabezado por bus LPC: se usa para la recuperación de flash o expansión Entrada/Salida.

3.1.1.1 Partes de la Tarjeta Alix

La Tarjeta *Alix* consta de una parte superior y otra parte posterior, que se encuentran conformadas por los siguientes elementos como se muestran en las Figuras 3.1 y 3.2:

1. Procesador AMD *Geode LX*
2. *Flash Award Bios* que es el sistema básico de entrada salida.
3. Puertos *Ethernet*
4. Puerto Serial DB9
5. Ranuras PCI para tarjetas inalámbricas.
6. Ranura tarjeta *Compact Flash*.
7. Puerto USB 2.0

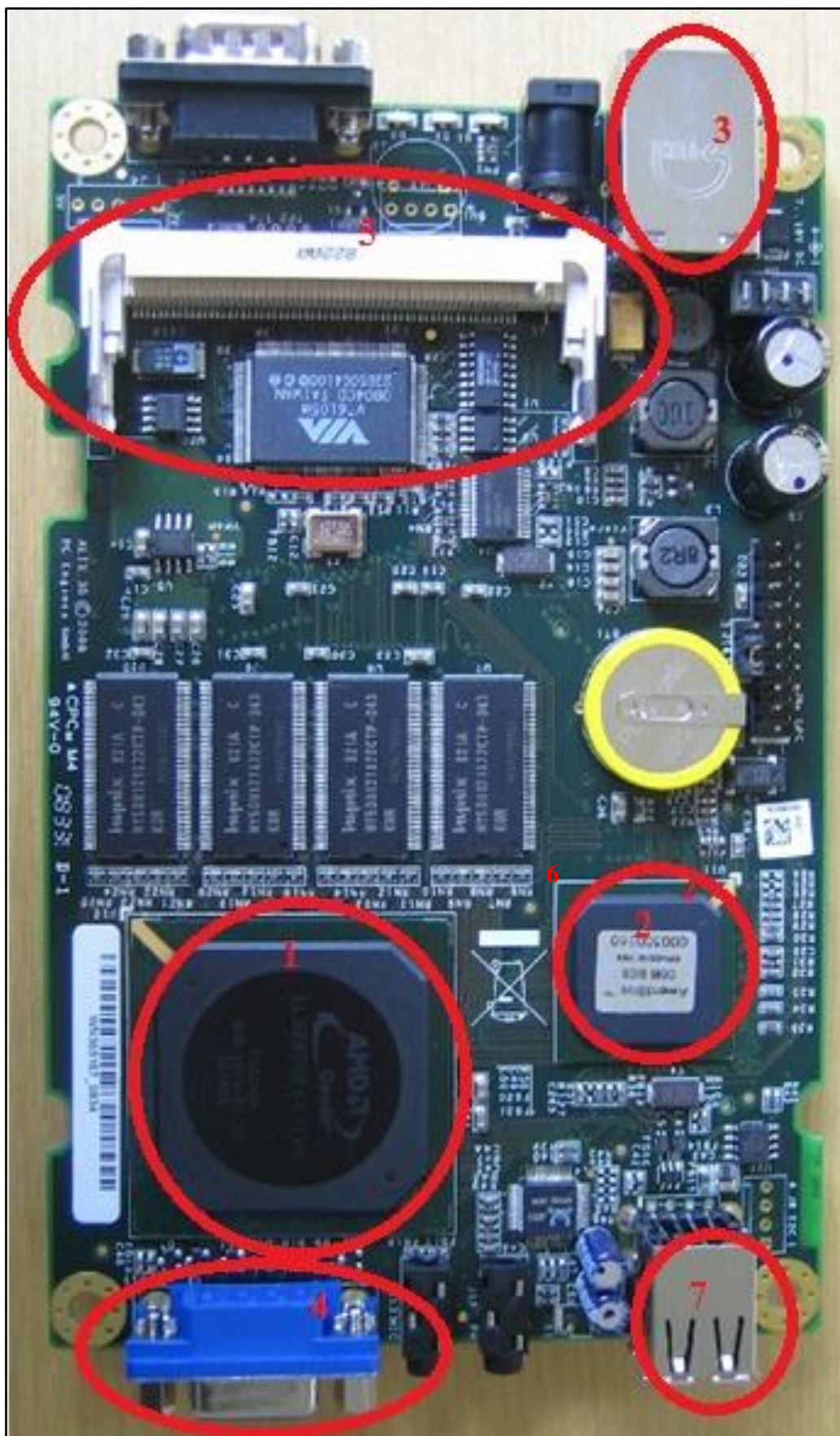


Figura 3. 1 Parte Superior de Tarjeta Alix [19]

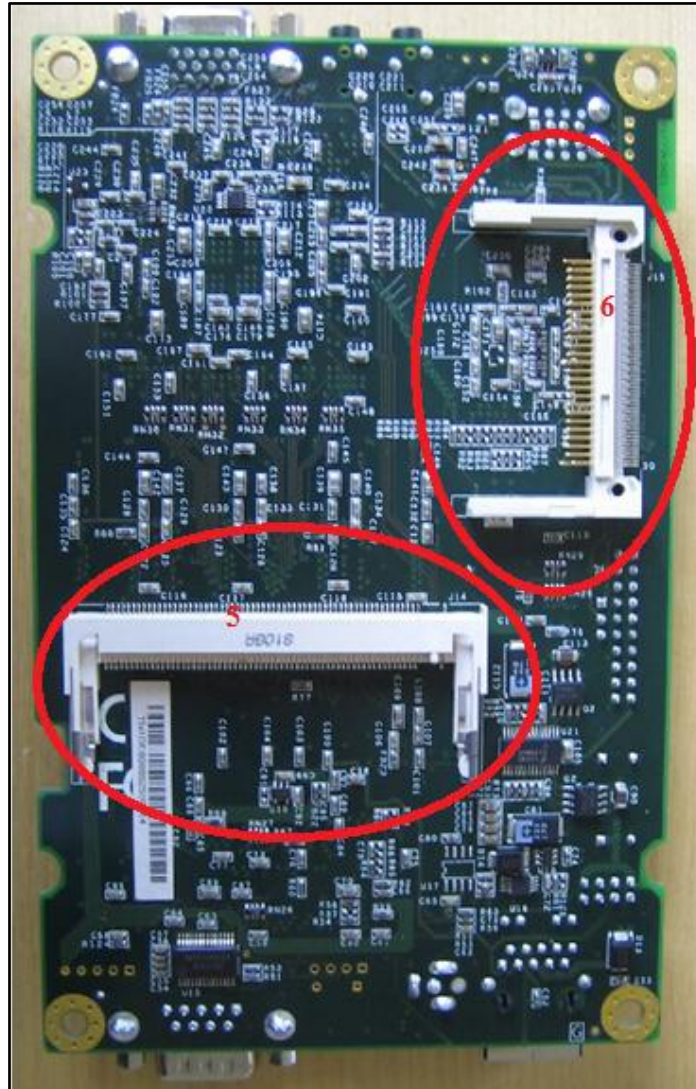


Figura 3. 2 Parte Inferior de Tarjeta Alix [19]

En la Figura 3.3 se puede visualizar el plano de la Tarjeta *Alix* a utilizar.

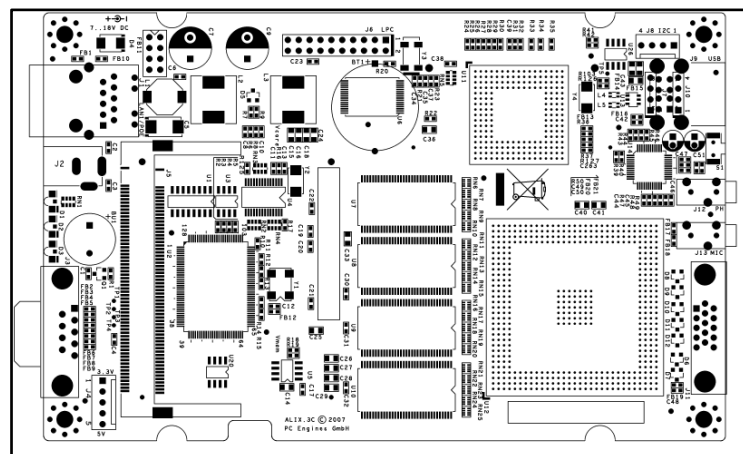


Figura 3. 3Plano de Tarjeta Alix 3D3 [19]

3.1.2 Comparación de Tarjetas de Red Inalámbricas

En la Tabla 3.1 muestra los diferencia entre algunos tipos de Tarjetas Inalámbricas para el alcance a larga distancia.

Tabla 3. 1Comparación de Tarjetas Inalámbricas para WiFi a larga distancia

Interfaces	Estándar	Potencia Máx en g en dbm	Potencia Máx en a en dbm	Conector antena	Sensibilidad	Corriente
SR2	g	26 a 1-24 Mbps	-	1 U. FL y 1 MMCX	6 Mbps- 94 dBm 12 Mpbs- 91 dBm	1.1
R52H	a g	26 a 6 Mbps	26 a 6 Mbps	2 U. FL	6 Mbps - 90 dBm ag	0.8
SR5	a	-	26 a 6-24 Mbps	1 U. FL y 1 MMCX	6 Mbps- 94 dBm 12 Mpbs- 91 dBm	1.3
XR2	g	28 a 1-24 Mbps	-	1 U. FL y 1 MMCX	6 Mbps- 94 dBm 12 Mpbs- 91 dBm	1.3
XR5	a	-	28 a 6- 24 Mbps	1 U. FL y 1 MMCX	6 Mbps- 94 dBm 12 Mpbs- 91 dBm	1.8
EMP - 8602+S	a g	27 a 6- 24 Mbps	22 a 6- 24 Mbps	2 U. FL	6 Mbps- 90 dBm 6 Mpbs- 92 dBm	1
WLM54A - 26dbm	a	-	26 a 6-24 Mbps	1 U. FL y 1 MMCX	6 Mbps - 90 dBm a	1.5
WLM54G - 6B 30	g	30 a 6- 24 Mbps	-	1 U. FL y 1 MCX	6 Mbps - 90 dBm g	1.5

Las Figuras 3.4 a la 3.10, presentan los diferentes tipos de interfaces para las Tarjetas *Alix*, que se posee en el mercado para la utilización en largas distancias.

SR2 de Ubiquiti Networks

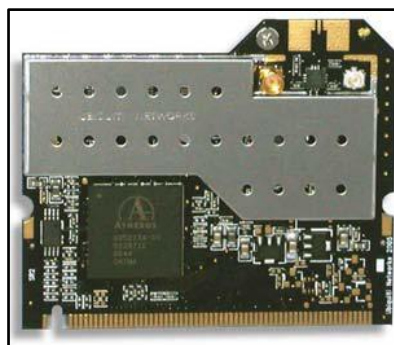
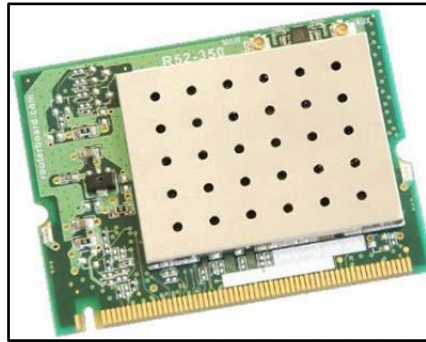
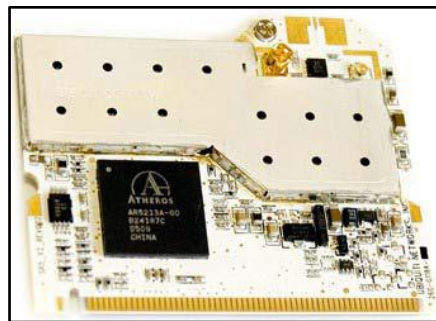
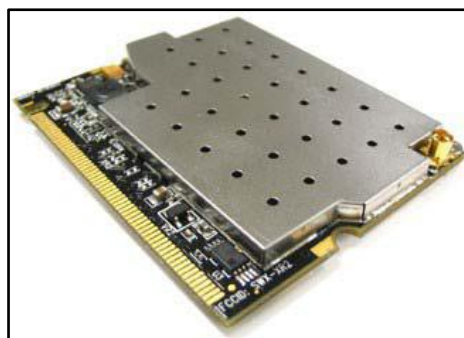
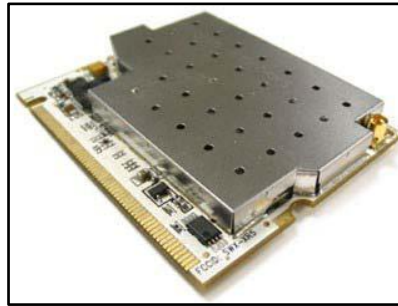
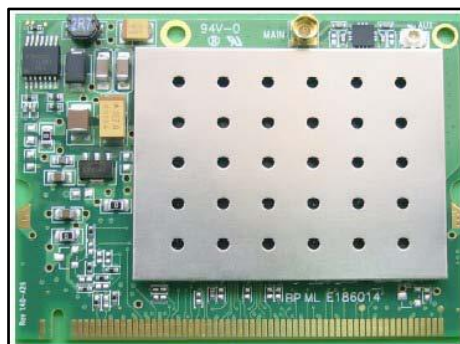


Figura 3. 4 SR2

R52H de Mikrotik**Figura 3. 5 R52H****SR5 de Ubiquiti Networks****Figura 3. 6 SR5****XR2 de Ubiquiti Networks****Figura 3. 7 XR2**

XR5 de Ubiquiti Networks**Figura 3. 8 XR5****EMP-8602+S de EnGenius Technologies****Figura 3.9 EMP – 8602+S****WLM54A-26dbm de Compex Systems****Figura 3. 10 WLM54A**

3.1.3 Sistema Operativo Linux Voyage

Linux Voyage es una distribución derivada de *Debian*⁸ que está optimizada para plataformas x86 de propósito específico tales como las placas de PC *Engines ALIX/WRAP* o las de *Soekris 45xx/48xx*.

La instalación típica requiere un espacio en disco de 128MB, aunque una mayor capacidad de almacenamiento permite que se puedan instalar otros paquetes adicionales. *Linux Voyage* es muy pequeño, por lo cual es adecuado para ejecutarlo con características como firewall, *accesspoint* inalámbrico, *gateway* de *VoIP*, etc. [20].

Las características más resaltantes de Linux Voyage son:

- Su construcción está basada en la distribución *DebianSarge r3.1/Etch r4.0/Lenny r5.0* tomando solo las aplicaciones necesarias para requerir un espacio de 128MB.
- La capacidad del sistema se puede incrementar de acuerdo a las necesidades por medio del manejo de la aplicación *apt*.
- *Kernel Linux 2.6*
- Total soporte para placas PC *Engines ALIX/WRAP*
- Soporte *WiFi*
- Soporte para diversos drivers de redes inalámbricas como *madwifi*, *hostap*, *prism54*, etc.
- Soporte WPA vía *hostapd* y *wpa_supplicant*.

⁸**Debian**, es un sistema operativo (S.O.) libre. ,Debian, <http://www.debian.org/index.es.html>, 28 de Septiembre del 2010.

- Soporte WDS vía drivers hostap y madwifi.

3.1.4 Selección de Tarjeta Alix

La consideración para la elección de la Tarjetas *Alix* se basa en parámetros tales como la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, temperatura y humedad soportada en operación, así como chipset incorporado.

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*, *Monitor*; para poder 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 80mW hasta 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*. [21]

El driver *Madwifi* permite modificar el valor de *ACKtimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*, por lo tanto permite tener un mejor control de las prestaciones del sistema, mientras que el *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 usadas con prestaciones aceptables en enlaces largos de hasta 30 km.

3.2 Software de simulación

3.2.1 Estudio del software de simulación

3.2.1.1 *Software Network Simulator 2*

Ns-2 (*Software Network Simulator 2*) es un simulador para redes utilizado ampliamente en el ambiente académico y de investigación, ya que permite trabajar tanto con redes cableadas como inalámbricas. Mediante la utilización del ns-2 es posible realizar simulaciones de redes complejas definiendo topologías y protocolos, en base a los parámetros definidos se puede llegar a obtener información concreta del comportamiento de la red en cualquier instante del tiempo.

Permite cambiar rápidamente algunas configuraciones de la red para poder tener la posibilidad de probar distintos escenarios, obteniendo así diferentes resultados para comparar cuales son los datos más óptimos para la configuración de la red. Posee una herramienta que permite la visualización de estos resultados en función del tiempo.

- **Arquitectura ns-2 (*Software Network Simulator 2*)**

Como se observa en la Figura 3.11, ns-2 es un intérprete de scripts del lenguaje Tcl Orientado a Objetos, el cual tiene un planificador de eventos de simulación, librerías de objetos componentes de red y librerías de módulos de instalación de red (implementación). En otras palabras, para crear simulaciones en ns-2, se debe programar en lenguaje de scripts Otcl⁹.

⁹OTcl, es una extensión de Tcl / Tk para la programación orientada a objetos, <http://otcl-tclcl.sourceforge.net/otcl/>, 19 de noviembre de 2010

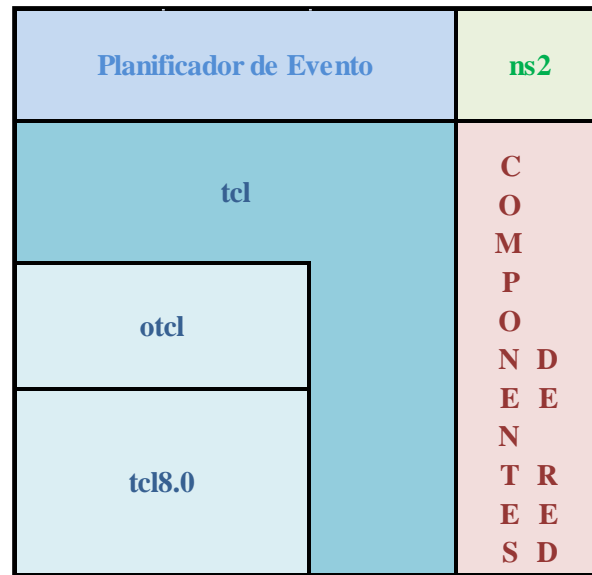


Figura 3. 11 Arquitectura de ns-2

Para establecer y ejecutar una simulación de red, el usuario debe escribir un script Otcl que inicialice un planificador de eventos, establezca la topología de la red usando las funciones de las librerías mencionadas, y diga a las fuentes de tráfico cuando empezar y cuando dejar de transmitir paquetes a través del planificador de eventos [22].

El término implementar se usa para describir la configuración de la red, esto es básicamente describir las posibles trayectorias entre objetos, configurando los punteros vecinos de un objeto a la dirección de otro apropiado.

Cuando el usuario quiere crear un nuevo objeto de red, lo puede hacer ya sea escribiendo uno nuevo o creando un objeto compuesto de las librerías existentes, e implementar el camino de los datos a través de dicho objeto.

Un componente importante del ns-2, aparte de los objetos de red, es el planificador de eventos o *eventscheduler*. Un evento en ns-2 es un identificador de paquete que es único para el mismo con un tiempo planificado y un apuntador al objeto que maneja el evento. El planificador de eventos entonces guarda la pista del tiempo de simulación y ejecuta todos

los eventos programados en sus respectivos momentos al invocar los componentes de red apropiados, y los deja realizar la acción asociada con el paquete apuntado por el evento.

3.2.1.2 *Software Network Simulator 3*

Network Simulator3 es un evento simulador de red discreto, escrito en C++ diseñado como una biblioteca que puede ser estática o dinámica vinculada a un programa C++ principal que define la topología de simulación y comienza el simulador.

Ns-3 también exporta casi toda su API (*Application Programming Interface*) para *Python*¹⁰, permitiendo a los programas de *Python* importar un módulo de "ns-3" en la misma forma que en C++.

Ns-3 consiste en un sistema central con múltiples opciones, algunas opciones no son compatibles con todos los sistemas, o debe estar configurado en el sistema de ésta.

El código fuente para ns-3 es en su mayoría organizados en el src/ directorio, puede ser descrito por el esquema de la Figura 3.12. A continuación se va a indicar el trabajo del camino que realiza ns-3 de abajo hacia arriba, en general, sólo los módulos tienen dependencias por debajo de ellos.

¹⁰PYTHON, es un lenguaje de programación que te permite trabajar con mayor rapidez e integrar sus sistemas con mayor eficacia, <http://www.python.org/>, 3 de diciembre de 2010

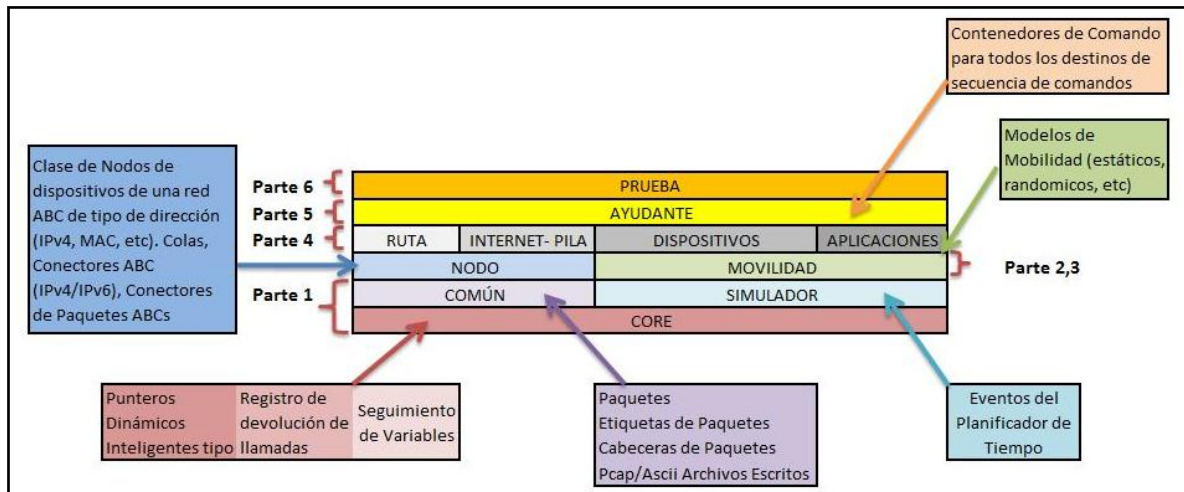


Figura 3. 12 Software de Organización de ns-3

En primer lugar, el núcleo de simulación se lleva a cabo en *src/core* y la base se utiliza para construir el motor de simulación *src/simulator*. Los paquetes son los objetos fundamentales en un simulador de red y se ejecutan en *src/packet*. Estos tres módulos de simulación por sí mismos están destinados a formar un núcleo genérico de simulación que puede ser utilizado por diferentes tipos de redes, no basados en Internet. Los módulos anteriores de ns-3 son independientes de la red y modelos específicos de dispositivos.

Además de lo anterior el núcleo ns-3, se describe también en la Parte 1 otros dos módulos que complementan el núcleo C++ API basada en programas que pueden acceder a todas las API directamente.

La parte 2 se centra en dos objetivos fundamentales en ns-3: el Nodo y la Movilidad.

Dos tipos de Dispositivos de Redes especiales están diseñados para apoyar la red en casos de uso de la emulación, y la emulación se describe en la parte 3. La parte 4 está dedicada a los modelos asociados a Internet, incluida la API de *sockets* utilizados por las aplicaciones de Internet.

Parte 5 trata de las aplicaciones, y la Parte 6 describe un apoyo adicional para la simulación, tales como animadores [23].

Tabla 3. 2 Cuadro Comparativo ns-2 y ns-3

	NS2	NS3
APLICACIONES	Ping, Telnet, FTP, multicast FTP, HTTP, Probabilístico y Localizador del generador de tráfico, webcache ¹¹	On Off Application, conectores asincrónicos API, conectores de paquetes
CAPA DE TRANSPORTE	TCP (algunos variantes), UDP, SCTP, XCP, TFRC, RAP, RTP, Multicast: PGM, SRM, RLM, PLM	UDP, TCP
CAPA DE RED	Unicast: IP, Mobile IP, genérico del vector distancia y link state, IPinIP, enrutamiento de origen , Nixvector Multicast: SRM, genérico centralizado MANET: AODV, DSR, DSDV, TORA	Unicast: IPv4, enrutamiento estático global, Multicast: enrutamiento estático MANET: OLSR
CAPA DE ENLACE	ARP, HDLC, MPLS, LDP Cola: Drop Tail, RED, RIO, WFQ, SRR, Cola de paquetes semántica, REM, Prioridad VQ MACs: CSMA, 802.11b, 802.15.4 (WPAN), Satélite Aloha	Punto a Punto, CSMA, 802.11 MAC baja y alta, tasa de control del algoritmo
CAPA FISICA	Dos Vías, Antenas Omnidireccionales, Modelo de Energía, Repetidor Satelital	802.11a, modelo de propagación de pérdidas, registro de distancia de modelo de propagación , base con cable (pérdida, retraso)
APOYO	Generador de números randómicos, Seguimiento, Monitoreo, Apoyo matemático, Conjunto de Pruebas, Animaciones (NAM), Modelos de Error	Generador de números randómicos, Seguimiento, Unidad de prueba, Callbacks, Visualización de Movilidad, Error de Modelos

¹¹WEBCACHE, vienen a ser unos servidores que los proveedores de internet utilizan para almacenar páginas web. <http://www.comodescargar.com/programas/emule/webcache.php>, 20 de Noviembre del 2010.

3.2.1.3 NCTUns

NCTUns (*National Chiao Tung University, Network Simulator*) es un simulador y emulador de redes y sistemas de telecomunicaciones avanzado. Una de las características de *NCTUns* es que es software libre y se ejecuta sobre Linux; además utiliza una metodología de simulación que entra y modifica el *Kernel* de Linux, lo cual hace que el programa tenga ventajas únicas en comparación con otros simuladores y emuladores de redes de comunicaciones [24].

El simulador cuenta con una arquitectura abierta que permite hacer modificaciones en lo que respecta a protocolos, ajustando así los parámetros del protocolo en la red y las capas de transporte con el fin de obtener una mayor precisión en los resultados.

Este simulador, como se dijo anteriormente; permite desarrollar, evaluar y diagnosticar el desempeño de protocolos y aplicaciones en diferentes tipos de redes (LAN, MAN, WAN). Las simulaciones hechas con esta herramienta, cuentan con características muy especiales, ya que *NCTUns* simula en tiempo real y con una interfaz similar a la de los sistemas reales, lo cual permite familiarizar más al usuario con el manejo del diseño, configuración e implementación de aplicaciones en redes de comunicaciones [25].

- **Características generales.**

El *software NCTUns* utiliza una sintaxis sencilla pero muy efectiva para describir la topología, los parámetros y la configuración de una simulación, esta descripción se genera a partir de la interfaz gráfica del usuario.

NCTUns fue desarrollado basado en el simulador ns, de ahí su nombre, la diferencia conlleva una interfaz más amigable con el usuario para la implementación de los modelos de red que se simulan. Este programa permite la simulación de arquitecturas de redes sencillas, sin embargo, su mayor

potencial está en la simulación de redes tan complejas como las redes GPRS, satelitales y ópticas [25].

Permite simular redes ópticas y puede usarse fácilmente como un emulador, cuando se desee desarrollar funciones de desempeño de un host real y ver cómo se comportaría bajo diferentes tipos de condiciones de red sin modificar su protocolo interno [26].

- **Protocolos en NCTUns**

En la Tabla 3.3 se tiene los principales protocolos que contiene el simulador NCTUns [27]:

Tabla 3. 3 Protocolos de NCTUns

	PROTOCOLOS
APLICACIONES	<ul style="list-style-type: none"> - HTTP - FTP - Telnet - Tcpdump (Es una herramienta en línea de comandos cuya utilidad principal es analizar el tráfico que circula por la red.) - Traceroute - Ping - Stcp/rtcp (El SCTP o Protocolo de Transmisión de Control de Cadena es una alternativa a los protocolos de transporte TCP y UDP pues provee confiabilidad. El RTCP o Protocolo de Control de Tiempo Real sirve para entregar un <i>feedback</i> sobre la calidad de la transmisión de datos.) - Ttcp (<i>Test</i> TCP es un programa utilitario que mide el rendimiento de procesamiento de la red, es utilizado popularmente en sistemas Unix.) - Stg/rtg (Los generadores stg y rtg de NCTUns son usados para generar tráfico desde una archivo ASCII donde se especifica el tamaño y envío de cada paquete.)

	PROTOCOLOS
CAPA DE TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> - TCP, UDP, RTP, RTCP, SDP , MULTI-INTERFACE
CAPA DE RED	<ul style="list-style-type: none"> - IP, ICMP , OSPF, RIP, FNGRP, DSR, AODV, ADV, DSDV, MNGRP, RED - Paquetes perdidos, retardo y reordenamiento en redes WAN - DS_TC - Pila de Protocolos de redes celulares GPRS - OBS, MESHOSPF, MESH RIP, MIP
CAPA DE ENLACE	<ul style="list-style-type: none"> - Ethernet IEEE 802.3 - IEEE 802.11b redes LAN <i>Wireless</i>(modo infraestructura/AdHoc) - Protocolo Puente de Aprendizaje (usado en el <i>switch</i>) - Protocolo <i>SpanningTree</i> (usado en el <i>switch</i>) - ARP - Protocolo de Protección de Anillo Óptico - Capa MAC de redes <i>Mesh</i> Inalámbricas IEEE 802.11b - Capa MAC Calidad de Servicio QoS de redes LAN inalámbricas IEEE 802.11e - Capa MAC de IEEE 802.16d
CAPA FISICA	WPHY, AWPBY, WIMAX_WPHY, DVB-RCS_WPHY

Además de analizar los protocolos de del presente simulador, también se tomará en cuenta la comparación entre los simuladores ns-2 y NCTUns a fin de justificar el software de simulación escogido, por tal motivo la Tabla

3.4, contiene la comparación de las diversas funciones entre los dos simuladores antes mencionados [24].

Tabla 3. 4 Comparación entre ns-2 y NCTUns

Simulador	Tipo de Licencia	Requerimientos del Sistema y S.O	Protocolos y Tecnologías	Características Generales
NS-2	Software Libre	<ul style="list-style-type: none"> - Plataformas Unix (Linux, SunOS, Solaris) y plataformas de Windows. -Memoria RAM 256 MB -Espacio en Disco Duro 320 MB 	HTTP, FTP, CBR, TCP, UDP, RTP, SRM, entre otros.	Modo: A nivel de usuario
				Pila de Red: Modelo
				Velocidad: Más Rápido
				GUI: No oficial
				Número de Nodos: Más de 10000
Funciones: menos funciones				
NCTUns	Software Libre	<ul style="list-style-type: none"> - Plataforma Red Hat Linux, Fedoracore 3.0 - Memoria RAM 256 MB -Espacio en Disco Duro 200 MB 	Protocolos creados por el usuario	Modo: A nivel del Kernel
				Pila de Red: Más real
				Velocidad: Lenta
				GUI: Profesional
				Número de Nodos: 4096
Funciones: más funciones				

3.3 Selección del Software

El *software* elegido es *Network Simulator 2 (ns-2)* actualmente en la versión 2.34. La razón de la elección principalmente se encuentra en que es una herramienta libre, 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.

En el Anexo 2 se puede observar los pasos de instalación del *software*.

3.4 SIRENET

Es una herramienta de planificación y gestión radioeléctrica que permite el manejo de recursos espectrales de manera rápida y eficiente. Esta herramienta incorpora las más modernas tecnologías para gestionar de forma instantánea toda la información geográfica necesaria, todo ello en un PC equipado con *Windows 95/NT* o trabajando en red de área local.

La herramienta se basa en la simulación de entornos reales apoyándose en un sistema avanzado de información geográfica, en la reproducción exacta del comportamiento de los equipos radioeléctricos y en los algoritmos más avanzados y actuales para la predicción de la propagación en distintos entornos. La aplicación presenta un entorno de trabajo amigable sobre plataforma *Windows*. El manejo es simple e intuitivo y su funcionalidad se adapta a las necesidades de distintos perfiles de usuario.

3.4.1 Características

Entre las principales características se tiene:

- Realiza una planificación teórica de la red
- Calibra las simulaciones con medidas de campo
- Analiza el coste de cada configuración

- Presenta la solicitud de frecuencias
- Supervisa la calidad de la red
- Gestiona el inventario técnico
- Facilita el servicio de atención al cliente

3.4.2 Selección de Sirenet

El programa es ideal tanto para supervisar las redes ya en servicio como para planificar las que se vayan a desplegar en el futuro. Sus algoritmos cubren todas las bandas y servicios de la radiocomunicación, incluyendo los nuevos sistemas digitales como *DAB*, *DVB*, *TETRA*, *DECT*, Punto-Multipunto, *GSM*, *DCS*, *UMTS*, *WiMAX*, *WIFI*.

Se escogió esta herramienta de planeación radioeléctrica debido a las bondades que posee el mismo, además se tomo en cuenta un gran beneficio; que es el de tener mayor precisión con los cálculos de propagación pues *Sirenet* posee mapas geográficos más actuales y reales para un óptimo estudio de una planeación de la red.

3.5 D-ITG

D-ITG es el software más utilizado y recomendado para realizar mediciones de desempeño y simular tráfico de diversos protocolos. D-ITG es una plataforma de código abierto para la generación de tráfico, capaz de producir tráfico IPv4 e IPv6 para paquetes con tamaño determinado y es capaz de calcular el retardo de ida (OWD - *One Way Delay*) y de ida y vuelta (RTT - *Round Trip Time*). D-ITG sigue el modelo cliente-servidor. Hay cuatro ejecutables básicos que implementan los componentes de la plataforma: *ITGSend*, *ITGRecv*, *ITGLog*, e *ITGDec*[28].

Está concebida para ser usada como una herramienta distribuida de medición de rendimiento, capaz de calcular el retardo, la tasa de pérdida de paquetes, el *jitter* y el *throughput*. Lo novedoso que brinda este programa, es su versatilidad ya que se desarrolla

en un ambiente gráfico mediante una plataforma basada en Java, por eso posee la ventaja de analizar todos los parámetros de una manera amigable con el usuario mediante los cuales se podrá determinar la calidad del servicio que proporciona la red.

D-ITG es particularmente interesante por varias razones; entre ellas D-ITG dispone de una interfaz gráfica que puede simplificar su uso, dispone de un "manager" que permite enviar órdenes a fuentes y sumideros de tráfico remotos, así como de un servidor de *logs* que se puede ubicar en cualquier máquina que convenga (coincida o no con las fuentes o sumideros de tráfico), además permite caracterizar estadísticamente el tráfico inyectado, y mide todos los parámetros de Calidad de Servicio (QoS) antes citados, por estas razones fue escogido el inyector de tráfico D-ITG para este proyecto de tesis.

MÉTODOS

3.6 CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS

Las Tarjetas *Alix* poseen una base de software el cual no se puede realizar directamente sobre el soporte de la Compact Flash, ni se realizara sobre el prototipo, por lo que se preparara en un ordenador de escritorio con la distribución de Linux Ubuntu. [29]

Mediante los siguientes pasos se debe tener en cuenta algunas consideraciones de las tarjetas *Alix*.

- a) **Preparación del *filesystem*:** Mediante la ayuda de los comandos `dd` y `mk2fs` se prepara la imagen del sistema. El comando `dd` es usado para transferir datos de un archivo hacia otro archivo diferente, y el comando `mk2fs` que es utilizado para crear el sistema de archivos de *Linux* y formatear el dispositivo compatible con *Linux*.
- b) **Carga del sistema operativo:** Una vez listo el *filesystem* se procede a montar teniendo en cuenta los ficheros de configuración de la red, etc.

- c) **Compilación:** Se debe tener en cuenta las características que posee nuestro ordenador para poder así compilar cada elemento si fuera necesario.

- d) **Pruebas iniciales:** Con la operación realizada se procede a probar que se registra correctamente los datos deseados.

El sistema es montado por defecto como solo lectura, debido a que las memorias CF (Compact Flash) son lentas de escribir y soportan relativamente pocas escrituras. Sin embargo, nos brinda la opción de configurar el sistema a través de la partición, la cual podemos montar para realizar cambios que se verán reflejados en el directorio "/etc", y que serán aplicados y mantenidos al reiniciar el sistema [30].

3.6.1 Formateo de la Memoria de la Tarjeta Alix

Una vez establecida la conexión se empieza por formatear la memoria de las Tarjetas *Alix* mediante el siguiente procedimiento:

1. Se ingresa el comando: **dmesg** para poder observar las características de la tarjeta, como se ilustra en la Figura 3.13:

```

root@ubuntu:/home/vivi# dmesg
[ 852.489311] usbcore: registered new interface driver usb-storage
[ 852.489330] USB Mass Storage support registered.
[ 852.491648] usb-storage: device found at 4
[ 852.491662] usb-storage: waiting for device to settle before scanning
[ 857.488423] usb-storage: device scan complete
[ 857.489226] scsi 4:0:0:0: Direct-Access    Generic  USB SD Reader    1.00 PQ: 0 ANSI: 0
[ 857.489977] scsi 4:0:0:1: Direct-Access    Generic  USB CF Reader    1.01 PQ: 0 ANSI: 0
[ 857.490711] scsi 4:0:0:2: Direct-Access    Generic  USB SM Reader    1.02 PQ: 0 ANSI: 0
[ 857.491472] scsi 4:0:0:3: Direct-Access    Generic  USB MS Reader    1.03 PQ: 0 ANSI: 0
[ 857.493948] sd 4:0:0:0: Attached scsi generic sg1 type 0
[ 857.494463] sd 4:0:0:1: Attached scsi generic sg2 type 0
[ 857.494982] sd 4:0:0:2: Attached scsi generic sg3 type 0
[ 857.495501] sd 4:0:0:3: Attached scsi generic sg4 type 0
[ 858.288230] sd 4:0:0:2: [sdd] Attached SCSI removable disk
[ 858.290629] sd 4:0:0:3: [sde] Attached SCSI removable disk
[ 858.294460] sd 4:0:0:1: [sdc] 4095504 512-byte logical blocks: (2.09 GB/1.95 GiB)
[ 858.300667] sd 4:0:0:0: [sdb] Attached SCSI removable disk
[ 858.301830] sd 4:0:0:1: [sdc] Write Protect is off
[ 858.301842] sd 4:0:0:1: [sdc] Mode Sense: 03 00 00 00
[ 858.301850] sd 4:0:0:1: [sdc] Assuming drive cache: write through
[ 858.338685] sd 4:0:0:1: [sdc] Assuming drive cache: write through
[ 858.338703]   sdc: sdc1
[ 858.355563] sd 4:0:0:1: [sdc] Assuming drive cache: write through
[ 858.355578] sd 4:0:0:1: [sdc] Attached SCSI removable disk
[ 859.792501] kjournald starting. Commit interval 5 seconds
[ 859.874187] EXT3 FS on sdc1, internal journal
[ 859.874199] EXT3-fs: recovery complete.
[ 859.961370] EXT3-fs: mounted filesystem with writeback data mode.
[ 979.932551] CE: hpet increasing min delta ns to 15000 nsec

```

Figura 3. 13Características de la TarjetaAlix

2. Luego de conocer las características de la memoria se procede a desmontarla con el siguiente comando:

```
# umount /dev/sdc1
```

3. Al momento de haber desmontado la memoria, para comenzar a formatearla se coloca el comando:

```
# mkfs.vfat /dev/sdc1
```

4. Una vez formateada la memoria se procede a realizar la partición para instalar *Linux Voyage* de la Tarjeta *Alix* mediante el comando como se ilustra en la Figura 3.14:

```
# fdisk /dev/sdc
```

```

root@ubuntu:/home/vivi# umount /dev/sdc1
root@ubuntu:/home/vivi# mkfs.vfat /dev/sdc1
mkfs.vfat 3.0.3 (18 May 2009)
root@ubuntu:/home/vivi# fdisk /dev/sdc

Orden (m para obtener ayuda): m
Orden  Acción
  a  Conmuta el indicador de iniciable
  b  Modifica la etiqueta de disco bsd
  c  Conmuta el indicador de compatibilidad con DOS
  d  Suprime una partición
  l  Lista los tipos de particiones conocidos
  m  Imprime este menú
  n  Añade una nueva partición
  o  Crea una nueva tabla de particiones DOS vacía
  p  Imprime la tabla de particiones
  q  Sale sin guardar los cambios
  s  Crea una nueva etiqueta de disco Sun
  t  Cambia el identificador de sistema de una partición
  u  Cambia las unidades de visualización/entrada
  v  Verifica la tabla de particiones
  w  Escribe la tabla en el disco y sale
  x  Funciones adicionales (sólo para usuarios avanzados)

Orden (m para obtener ayuda): █

```

Figura 3. 14Menú de Ayuda para Particionar

5. Al ingresar a la opción de ayuda seleccionar **p** para observar la tabla de particiones que contiene la memoria, como ilustra la Figura 3.15:

```

Orden (m para obtener ayuda): p
Disco /dev/sdc: 2096 MB, 2096898048 bytes
65 cabezas, 62 sectores/pista, 1016 cilindros
Unidades = cilindros de 4030 * 512 = 2063360 bytes
Identificador de disco: 0x27fd8f0a

Disposit. Inicio    Comienzo      Fin          Bloques  Id Sistema
/dev/sdc1          1             1016         2047209  83  Linux

```

Figura 3. 15Tabla de Particiones

6. Seleccionar **d** para suprimir la partición encontrada, como ilustra la Figura 3.16:

```

Orden (m para obtener ayuda): d
Se ha seleccionado la partición 1

```

Figura 3. 16Eliminación de Particiones

7. Seleccionar **w** para escribir la tabla en el disco, como ilustra la Figura 3.17:

```

Orden (m para obtener ayuda): w
¡Se ha modificado la tabla de particiones!

Llamando a ioctl() para volver a leer la tabla de particiones.
Se están sincronizando los discos.
root@ubuntu:/home/vivi# fdisk /dev/sdc

```

Figura 3. 17Modificación de Particiones

8. Para ingresar nuevamente se debe colocar:

fdisk /dev/sdc

9. Una vez borrada la partición se debe seleccionar **n** para crear una nueva partición, como ilustra la Figura 3.18:

```

Orden (m para obtener ayuda): n
Acción de la orden
e   Partición extendida
p   Partición primaria (1-4)

```

Figura 3. 18Creación de Particiones

10. Seleccionar **p** para partición primaria, como ilustra la Figura 3.19:

```

p
Número de partición (1-4): 1
Primer cilindro (1-1016, valor predeterminado 1):
Se está utilizando el valor predeterminado 1
Last cilindro, +cilindros or +size{K,M,G} (1-1016, valor predeterminado 1016):
Se está utilizando el valor predeterminado 1016

```

Figura 3. 19Selección de Partición

11. Seleccionar **1** para crear el número de particiones, como ilustra la Figura 3.20:

```

Número de partición (1-4): 1
Primer cilindro (1-1016, valor predeterminado 1):
Se está utilizando el valor predeterminado 1
Last cilindro, +cilindros or +size{K,M,G} (1-1016, valor predeterminado 1016):
Se está utilizando el valor predeterminado 1016

```

Figura 3. 20Creación de Número de Particiones

12. Luego de haber creado la nueva partición, se debe colocar `w` para escribir el cambio realizado y salir de la memoria, como ilustra la Figura 3.21:

```
Orden (m para obtener ayuda): w
¡Se ha modificado la tabla de particiones!

Llamando a ioctl() para volver a leer la tabla de particiones.
Se están sincronizando los discos.
root@ubuntu:/home/vivi# █
```

Figura 3. 21Finalización de Creación de Particiones

3.6.2 Formatear la unidad Compact Flash.

1. Se debe desmontar para luego darle formato, como ilustra la Figura 3.22:

```
# umount /dev/sdc1
# mke2fs -j /dev/sdc1
```

```
root@ubuntu:/home/vivi# umount /dev/sdc1
umount: /dev/sdc1: no montado
root@ubuntu:/home/vivi# mke2fs -j /dev/sdc1
mke2fs 1.41.9 (22-Aug-2009)
Etiqueta del sistema de ficheros=
Tipo de SO: Linux
Tamaño del bloque=4096 (bitácora=2)
Tamaño del fragmento=4096 (bitácora=2)
128000 nodos-i, 511802 bloques
25590 bloques (5.00%) reservados para el superusuario
Primer bloque de datos=0
Número máximo de bloques del sistema de ficheros=524288000
16 bloque de grupos
32768 bloques por grupo, 32768 fragmentos por grupo
8000 nodos-i por grupo
Respaldo del superbloque guardado en los bloques:
    32768, 98304, 163840, 229376, 294912

Escribiendo las tablas de nodos-i: hecho
Creating journal (8192 blocks): hecho
Escribiendo superbloques y la información contable del sistema de ficheros: hecho

Este sistema de ficheros se revisará automáticamente cada 34 montajes o
180 días, lo que suceda primero. Utilice tune2fs -c o -i para cambiarlo.
root@ubuntu:/home/vivi# █
```

Figura 3. 22Desmonte de Tarjeta

2. Luego colocar el comando, como se ilustra en la Figura 3.23:

```
# tune2fs -c 0 /dev/sdc1
```

```

Este sistema de ficheros se revisará automáticamente cada 34 montajes o
180 días, lo que suceda primero. Utilice tune2fs -c o -i para cambiarlo.
root@ubuntu:/home/vivi# tune2fs -c 0/dev/sdc1
tune2fs 1.41.9 (22-Aug-2009)
tune2fs: cuenta de montajes incorrectos - 0/dev/sdc1
Usage: tune2fs [-c max_mounts_count] [-e errors_behavior] [-g group]
        [-i interval[d|m|w]] [-j] [-J journal_options] [-l]
        [-m reserved_blocks_percent] [-o [^]mount_options[,...]]
        [-r reserved_blocks_count] [-u user] [-C mount_count] [-L volume_label]
        [-M last_mounted_dir] [-O [^]feature[,...]]
        [-E extended-option[,...]] [-T last_check_time] [-U UUID]
        [-I new_inode_size ] device
root@ubuntu:/home/vivi#

```

Figura 3. 23Cuadro de Desmontajes Incorrectos

3.6.3 Instalación del Sistema Voyage Linux en la Compact Flash

1. Se debe descomprimir el archivo `voyage-0.5.2.tar.bz2` con el comando `tarjxvfel nombre del archivo`, el mismo que es descargado de internet, como se ilustra en la Figura 3.24.

```

voyage-0.5.2/ro/tmp/
root@ubuntu:/home/vivi/Escritorio# tar jxvf voyage-0.5.2.tar.bz2

```

Figura 3. 24 Archivo de Voyage

2. Una vez descomprimido el archivo se ingresa con el comando:

cd voyage-0.5.2 .

Dentro de este directorio iniciamos la instalación con el comando:

mkdir /mnt/cf

3. Para actualizar el sistema operativo `voyage` se coloca el comando:

/usr/local/sbin/voyage.update

Una vez procesado el comando se debe elegir la opción **1** la cual permite crear un nuevo disco *Voyage Linux*, como ilustra la Figura 3.25:

```
root@ubuntu:/home/vivi/Escritorio/voyage-0.5.2# ./usr/local/sbin/voyage.update
What would you like to do?
 1 - Create new Voyage Linux disk
 2 - Update existing Voyage configuration
 3 - Exit
(default=1 [Create new Voyage Linux disk]): 1
```

Figura 3. 25 Creación de un Nuevo Disco

- Mediante la elección de la creación de un nuevo disco, ingresa a un nuevo menú en el cual se procede a elegir la opción **2 Target Profile**, que permite conocer el tipo de unidad en nuestro caso es *Alix* con la opción **5**, como ilustra la Figura 3.26:

```
Where is the Voyage Linux distribution directory?
(default=/home/vivi/Escritorio/voyage-0.5.2):

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 - Copy Distribution to Target
 7 - Exit
(default=2 [Select Target Profile]): 2

Please select Voyage profile:
 1 - 4501
 2 - 4511/4521
 3 - 4801
 4 - 5501
 5 - ALIX
 6 - Generic PC
 7 - Notebook (pcmcia)
 8 - WRAP
(default=8 [WRAP]): 5
```

Figura 3. 26 Selección de Tipo de Tarjeta

- Mediante la elección del tipo de unidad se desplazará el menú donde se elige la opción **3** para realizar las particiones en **Target Disk**. Con la opción elegida aparecerá una tabla de bloques de memoria con la respectiva unidad y como en este caso no se encuentra por defecto la unidad en el cuadro señalado entonces se escribe la unidad **/dev/sdc**, como ilustra la Figura 3.27:

```

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 - Copy Distribution to Target
7 - Exit
   (default=3 [Select Target Disk]): 3

Partitions information
major minor #blocks name
7         0 17145856 loop0
8         0 244198584 sda
8         1  203776 sda1
8         2 231707648 sda2
8         3 12178432 sda3
8         4  105656 sda4
8         32 2047752 sdc
8         33 2047209 sdc1

Which device accesses the target disk [/dev/hde]? /dev/sdc

```

Figura 3. 27Tabla de Bloques de Memoria

6. Una vez que aparece la tabla de unidad con los bloques y se debe ubicar en la unidad que se encuentra **/dev/sdc** y montamos en la compact flash colocando *enter*, de esta manera se debe seleccionar la opción **4** del siguiente menú que es el arranque de la tarjeta **Target BootstrapLoader**, como ilustra la Figura 3.28:

```

7         0 17145856 loop0
8         0 244198584 sda
8         1  203776 sda1
8         2 231707648 sda2
8         3 12178432 sda3
8         4  105656 sda4
8         32 2047752 sdc
8         33 2047209 sdc1

Which device accesses the target disk [/dev/hde]? /dev/sdc
Which partition should I use on /dev/sdc for the Voyage system [1]? 1
Where can I mount the target disk [/mnt/cf]?

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 - Copy Distribution to Target
7 - Exit
   (default=4 [Select Target Bootstrap Loader]): 4

```

Figura 3. 28Arranque de la tarjeta

7. Al momento del arranque de la tarjeta se debe cargar el sistema operativo en este caso es **lilo**, por lo cual al momento que aparezca la pregunta del sistema se debe colocar **lilo** que es el cargador de arranque de *Linux* y se utiliza la partición

número 1. En el menú posterior se elige 5 para configurar la consola de la tarjeta *Configure Target Console*, como ilustra la Figura 3.29:

```
Which loader do you want (grub or lilo) [grub]?
Which partition is used for bootstrap [1]? 1
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 - Copy Distribution to Target
 7 - Exit
(default=5 [Configure Target Console]): 5
```

Figura 3. 29 Configuración de Consola

8. El tipo de terminal que se elige es el serial con la opción número 1. Y se debe elegir la velocidad por default 38400, como ilustra la Figura 3.30.

```
Select terminal type:
 1 - Serial Terminal
 2 - Console Interface
   (default=1 [Serial Terminal]): 1

Please choose speed:
 1 - 2400
 2 - 4800
 3 - 9600
 4 - 19200
 5 - 38400
 6 - 57600
 7 - 115200
   (default=5 [38400]): 5
```

Figura 3. 30Tabla de Elección de Serial y Velocidad

9. Se copia la distribución en la tarjeta mediante la opción 6, para poder verificar la configuración de la *Compact Flash*, como ilustra la Figura 3.31.

```
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 - Copy Distribution to Target
 7 - Exit
   (default=6 [Copy Distribution to Target]): 6

Configuration details:
-----
Distribution directory: /home/vivi/Escritorio/voyage-0.5.2
Disk/Flash Device:    /dev/sdc
Installation Partition: /dev/sdc1
Bootstrap Partition:  /dev/sdc1

Will be mounted on:  /mnt/cf

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

Bootstrap installer:  grub
Bootstrap partition:  /dev/sdc1

OK to continue (y/n)? y
```

Figura 3. 31Detalle de la Configuración

Una vez comprobada la configuración colocar **y** para confirmar la configuración está bien hecha, como ilustra la Figura 3.32.

```
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 = (unset),
    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
copyfiles.sh script completed
```

Figura 3. 32Confirmación de Configuración

10. Una vez terminada la configuración finalizamos mediante la opción **7**, como ilustra la Figura 3.33.

```

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 - Copy Distribution to Target
 7 - Exit
(default=7 [Exit]): 7

```

Figura 3. 33Finalización de Configuración

3.6.4 Configuración de las Interfaces en la TarjetaAlix

1. Si no se conoce la IP de la Tarjeta ingresar a la *Voyage* colocando:

```

cd /media
cd ROOTS_FS

```

2. Una vez encontrado el comando ROOTS_FS para ingresar a las interfaces colocar:

```

vi/etc/network/interfaces

```

```

root@ubuntu:/media/ROOT_FS# ls
bin          initrd.img-2.6.23-486-voyage  ro    var
boot        lib                          root  vmlinuz
CHANGELOG   lost+found                   rw    vmlinuz-2.6.23-486-voyage
dev         media                         sbin  voyage.1st
etc         mnt                          srv   voyage.depends.list
home       opt                          sys   voyage.dpkg-l
initrd     proc                         tmp   voyage.dpkg.list
initrd.img README                       usr
root@ubuntu:/media/ROOT_FS# vi/etc/network/interfaces
bash: vi/etc/network/interfaces: No existe el fichero ó directorio
root@ubuntu:/media/ROOT_FS# vi /etc/network/interfaces
root@ubuntu:/media/ROOT_FS# vi etc/network/interfaces
root@ubuntu:/media/ROOT_FS#

```

Figura 3. 34Configuración de las Interfaces

Si no aparece así colocar:

```

vi /etc/network/interfaces

```

3. Si se conoce la IP de la tarjeta se ingresa mediante:

ssh 10.0.0.5

contraseña: voyage

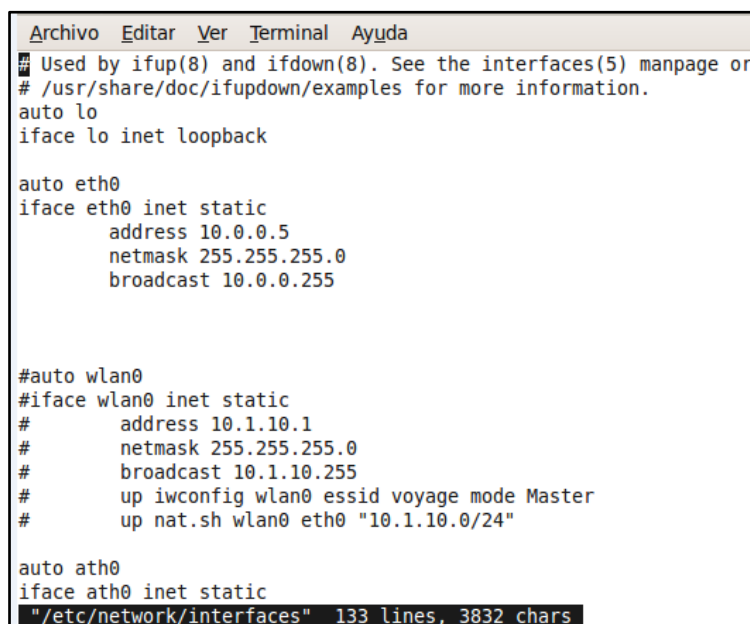
4. Al encontrarse en la *Voyage* colocar el siguiente comando para visualizar las interfaces de la tarjeta:

vi /etc/network/interfaces

Si no aparece con el comando anterior colocar:

vi /etc/network/interfaces

3.6.4.1 Configuración de Interfaces Estándares Tarjeta 1



```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda
# Used by ifup(8) and ifdown(8). See the interfaces(5) manpage or
# /usr/share/doc/ifupdown/examples for more information.
auto lo
iface lo inet loopback

auto eth0
iface eth0 inet static
    address 10.0.0.5
    netmask 255.255.255.0
    broadcast 10.0.0.255

#auto wlan0
#iface wlan0 inet static
#    address 10.1.10.1
#    netmask 255.255.255.0
#    broadcast 10.1.10.255
#    up iwconfig wlan0 essid voyage mode Master
#    up nat.sh wlan0 eth0 "10.1.10.0/24"

auto ath0
iface ath0 inet static
"/etc/network/interfaces" 133 lines, 3832 chars
```

Figura 3. 35 Interfaces de Estándares Tarjeta 1

Para modificar el texto se realiza mediante:

- **esc i:** se puede escribir
- **esc x:** se borra palabra por palabra
- **escdd:** borra la línea completa
- **escwq:** guarda los cambios realizados
- **esc q!:** no guarda los cambios realizados

3.6.4.2 Configuración de Interfaces Inalámbricas Maestro tarjeta 1

```
auto ath0
iface ath0 inet static
    address 192.168.3.5
    netmask 255.255.255.0
    broadcast 192.168.3.255
    pre-up wlanconfig ath create wlandev wifil wlanmode ap
    madwifi-base wifil
    wireless-mode Master
    up iwpriv ath0 mode auto
    up iwconfig ath0 mode master
    up iwconfig ath0 essid PRUEBA
    up iwconfig ath0 txpower auto
    up iwconfig ath0 enc off
    up iwconfig ath0 rate auto
    up nat.sh ath0 eth0 "192.168.3.0/24"
    up route add -net 12.0.0.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.3.6

#auto eth1
#iface eth1 inet static
#    address 10.1.20.1
#    netmask 255.255.255.0
#    broadcast 10.1.20.255

#auto eth2
#iface eth2 inet static
#    address 10.1.30.1
#    netmask 255.255.255.0
#    broadcast 10.1.30.255
```

Figura 3. 36 Configuración del Maestro

3.6.4.3 Configuración de Interfaces Estándares Tarjeta 2

```
# Used by ifup(8) and ifdown(8). See the interfaces(5) manpage or
# /usr/share/doc/ifupdown/examples for more information.
auto lo
iface lo inet loopback

auto eth0
iface eth0 inet static
    address 12.0.0.5
    netmask 255.255.255.0
    broadcast 12.0.0.255

#auto wlan0
#iface wlan0 inet static
#    address 10.1.10.1
#    netmask 255.255.255.0
#    broadcast 10.1.10.255
#    up iwconfig wlan0 essid voyage mode Master
#    up nat.sh wlan0 eth0 "10.1.10.0/24"

auto ath0
iface ath0 inet static
    address 192.168.3.6
    netmask 255.255.255.0
    gateway 192.168.3.5
    broadcast 192.168.3.255
    pre-up wlanconfig ath create wlandev wifil wlanmode sta
    madwifi-base wifil
    wireless-mode Managed
"/etc/network/interfaces" 132 lines, 3875 chars
```

Figura 3. 37 Configuración de la Tarjeta 2

3.6.4.4 Configuración de Interfaces Inalámbricas Esclavo Tarjeta 2

```
auto ath0
iface ath0 inet static
    address 192.168.3.6
    netmask 255.255.255.0
    gateway 192.168.3.5
    broadcast 192.168.3.255
    pre-up wlanconfig ath create wlandev wifil wlanmode sta
    madwifi-base wifil
    wireless-mode Managed
    up iwpriv ath0 mode auto
    up iwconfig ath0 mode managed
    up iwconfig ath0 essid PRUEBA
    up iwconfig ath0 txpower auto
    up iwconfig ath0 enc off
    up iwconfig ath0 rate auto
    up nat.sh ath0 eth0 "192.168.3.0/24"
    up route add -net 10.0.0.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.3.5

#auto eth1
#iface eth1 inet static
#    address 10.1.20.1
#    netmask 255.255.255.0
#    broadcast 10.1.20.255

#auto eth2
#iface eth2 inet static
#    address 10.1.30.1
#    netmask 255.255.255.0
```

Figura 3. 38 Configuración de Esclavo

3.7 MODIFICACIÓN EN LAS TARJETAS ALIX PARA LARGAS DISTANCIAS

Como se dijo anteriormente es importante que algunos parámetros de la tarjeta inalámbrica sean modificados para que el enlace ocurra a una distancia en orden de kilómetros. Es por eso que los parámetros a modificar son: *ACK time-out*, *CTS Clear toSendy* el tiempo definido *Slot-time*, con esto se logra aumentar el tiempo de espera del ACK y el cálculo del vector tiempo que se encarga de controlar el tiempo que se debe aguardar cuando el canal está reservado para la detección de la portadora virtual.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Se ingresa al sistema operativo *Linux Voyage* por medio del comando **ssh** seguido de la dirección IP que se ha configurado anteriormente en la tarjeta. La clave como se sabe es *Voyage*.
2. Se busca en el sistema de ficheros de procesos llamado *procfilesystem* un fichero virtual denominado *acktimeout*, *ctstimeout* y finalmente el *slottime*. Todo esto se realiza con el siguiente comando:
 - **find /proc -name acktimeout** para el caso de *ctstimeout* y *slottime* el cambio sería en el parámetro nombre con el que corresponda.

```

root@ubuntu: /home/vivi
Archivo Editar Ver Terminal Ayuda
The authenticity of host '10.0.0.5 (10.0.0.5)' can't be established.
RSA key fingerprint is 5c:9a:b3:3d:60:94:e4:d3:45:08:e8:8b:20:68:eb:55.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? n
Please type 'yes' or 'no': no
Host key verification failed.
1 root@ubuntu:/home/vivi# ssh 12.0.0.5
root@12.0.0.5's password:
Linux voyage 2.6.23-486-voyage #1 PREEMPT Thu Feb 28 17:11:14 GMT 2008 1586

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.

  V V V
  - - -
  / / /
  { V o y a g e } - L i n u x
  < http://linux.voyage.hk >

Useful Commands:
remountrw - mount disk as read-write
remountro - mount disk as read-only
remove.docs - remove all docs and manpages
Version: 0.5 (Build Date 20080317)

voyage:~#
2 voyage:~# find /proc -name acktimeout
/proc/sys/dev/wifi0/acktimeout
/proc/sys/dev/wifi1/acktimeout

```

Figura 3. 39 Ventana de ficheros virtuales

Como se puede visualizar en la Figura 3.39 existen ficheros virtuales para cada una de las interfaces inalámbricas.

- Para modificar cada uno de los parámetros basta con introducir el comando `athctrl ath0 d45000` en el cual se agrega la distancia para la cual se quiere modificar los distintos parámetros. Para el caso del `acktimeout` el significado del parámetro para el hardware difiere un poco de lo establecido en el estándar por lo que es recomendable que se actualice el comando utilizando la distancia del enlace en metros, como se ilustra en las Figuras 3.40 y 3.41.

```

root@ubuntu: /home/vivi
Archivo Editar Ver Terminal Ayuda
root@ubuntu:/home/vivi# ssh 10.0.0.5
The authenticity of host '10.0.0.5 (10.0.0.5)' can't be established.
RSA key fingerprint is 5c:9a:b3:3d:60:94:e4:d3:45:08:e8:8b:20:68:eb:55.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes
Warning: Permanently added '10.0.0.5' (RSA) to the list of known hosts.
root@10.0.0.5's password:
Linux voyage 2.6.23-486-voyage #1 PREEMPT Thu Feb 28 17:11:14 GMT 2008 1586

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.

      V V
     / / \ \
    / /   \ \
   / /     \ \
  / /       \ \
 / /         \ \
/ /           \ \
{ V o y ä g e } - L i n u x
 < http://Linux.voyage.hk >

Useful Commands:
remountrw - mount disk as read-write
remountro - mount disk as read-only
remove.docs - remove all docs and manpages

Version: 0.5 (Build Date 20080317)

voyage:~# find /proc -name acktimeout
/proc/sys/dev/wifi0/acktimeout
/proc/sys/dev/wifi1/acktimeout
voyage:~# athctrl ath0 -d 45000
Setting distance on interface wifi0 to 45000 meters
voyage:~# cat /proc/sys/dev/wifi0/acktimeout

```

Figura 3. 40 Configuración de *ACK-timeout*

```

root@ubuntu: /home/vivi
Archivo Editar Ver Terminal Ayuda
voyage:~# find /proc -name ctsttimeout
/proc/sys/dev/wifi0/ctsttimeout
/proc/sys/dev/wifi1/ctsttimeout
voyage:~# athctrl ath0 -d 45000
Setting distance on interface wifi0 to 45000 meters
voyage:~# cat /proc/sys/dev/wifi0/acktimeout
321
voyage:~# cat /proc/sys/dev/wifi0/ctsttimeout
321
voyage:~# find /proc -name slottime
/proc/sys/dev/wifi0/slottime
/proc/sys/dev/wifi1/slottime
voyage:~# athctrl ath0 -d 45000
Setting distance on interface wifi0 to 45000 meters
voyage:~# cat /proc/sys/dev/wifi0/slottime
159

```

Figura 3. 41 Configuración de *CTS-timeout* y *Slot-time*

4. En los ficheros virtuales se encuentran los valores que en cada instante tienen los respectivos parámetros en las interfaces. Con la ayuda del comando *cat* se puede visualizar dichos valores dependiendo de que se necesite conocer; si es que es el valor de *ctstimeout* o el *slottime*. En este ejemplo los valores están modificados para una distancia de 45 km, como ilustra la Figura 3.42.

```
root@ubuntu: /home/vivi
Archivo Editar Ver Terminal Ayuda
voyage:~# find /proc -name ctstimeout
/proc/sys/dev/wifi0/ctstimeout
/proc/sys/dev/wifi1/ctstimeout
voyage:~# athctl ath0 -d 45000
Setting distance on interface wifi0 to 45000 meters
voyage:~# cat /proc/sys/dev/wifi0/acktimeout
321
voyage:~# cat /proc/sys/dev/wifi0/ctstimeout
321
voyage:~# find /proc -name slottime
/proc/sys/dev/wifi0/slottime
/proc/sys/dev/wifi1/slottime
voyage:~# athctl ath0 -d 45000
Setting distance on interface wifi0 to 45000 meters
voyage:~# cat /proc/sys/dev/wifi0/slottime
159
voyage:~# /etc/init.d/networking restart
Reconfiguring network interfaces...Error for wireless request "Set Mode" (8B06)
:
  SET failed on device ath0 ; Invalid argument.
ath0
Warning: Driver for device ath0 has been compiled with version 22
of Wireless Extension, while this program supports up to version 20.
Some things may be broken...

done.
voyage:~# exit
logout
Connection to 10.0.0.5 closed.
```

Figura 3. 42 Visualización de valores modificados

Se observa que para este ejemplo en un enlace de 45 km de distancia los valores que entrega para el tiempo de *ACK-timeout* y *CTS-timeout* son iguales esto se debe a que los dos forman parte de un tiempo de respuesta; difiriendo en que el ACK es un acuse de recibo que indica que el destinatario recibió el paquete y el CTS es una trama que envía también el receptor para indicar que no se está efectuando otro proceso de transmisión y que el canal está libre para poder comunicar a los dos nodos.

CAPÍTULO 4

PLANEACIÓN DE RED

4.1 Estudio de Lugares donde se va a implementar la red

Los enlaces a estudiar para el proyecto son:

1. Volcán Cotopaxi – Escuela Politécnica del Ejército
2. Cerro Pilusurco- Fuerzas Especiales (Brigada Patria)

Con respecto al primer enlace a estudiar se concluye que mediante la visita en sitio del lugar, no existen facilidades de acceso para poder llegar con los equipos necesarios al Volcán Cotopaxi, debido a que no se cuenta con casetas de alimentación eléctrica por lo que se requiere la utilización de un generador y el traslado del mismo hasta el Refugio José Rivas en el Parque Nacional Cotopaxi. Además la falta de comunicación para la alineación de las antenas provocó que el enlace no fuera óptimo, pues en este sector no existe señal de telefonía móvil.

De acuerdo al estudio realizado el enlace Volcán Cotopaxi-Escuela Politécnica del Ejército fue descartado, y los puntos seleccionados para la implementación de la red fueron; Cerro Pilusurco- Espe Sede Latacunga y la Escuela de Fuerzas Especiales, por contar con las facilidades de acceso a los sitios, comunicación y condiciones climáticas favorables.

4.1.1 Fuerzas Especiales - Cerro Pilisurco– ESPE Latacunga

El enlace a estudiar se realizó en los puntos: Fuerzas Especiales, Cerro Pilisurco, ESPE- Latacunga; con una distancia de 59,3 km aproximadamente.

La Tabla 4.1 contiene la información de las coordenadas de los puntos:

Tabla 4. 1Coordenadas de los Puntos

Sitio	Latitud	Longitud	Altura
Cerro Pilisurco	01° 09' 06'' S	78° 39' 59'' O	4165m
Fuerzas Especiales	00° 50' 57'' S	78° 37' 11'' O	2875m
ESPE- Latacunga	00° 55' 57'' S	78° 36' 35'' O	2796m

Mediante el enlace realizado entre los puntos: Pilisurco- Fuerzas Especiales se puede observar en la Figura 4.1 la distancia total de 34,1 km del enlace.



Figura 4. 1Enlace Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales

En la Figura 4.2 se puede observar la distancia que existe entre los lugares: Pilisurco- ESPE Latacunga con una distancia de 25,2 km de enlace.



Figura 4. 2Enlace Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga

4.1.1.1 Perfil Topográfico

En la Tabla 4.2 se resumen los datos de simulación del enlace.

Tabla 4. 2Datos de Simulación

Lugar	Potencia de Tx	Umbral de Rx	Ganancia de Antenas	Altura de antenas	Frecuencia
Cerro Pilisurco	_____	90 dBm	24 dBi	10 m	2,4 GHz
Fuerzas Especiales	700 mW	_____	24 dBi	15 m	2,4 GHz
ESPE- Latacunga	_____	90 dBm	24 dBi	10 m	2,4 GHz

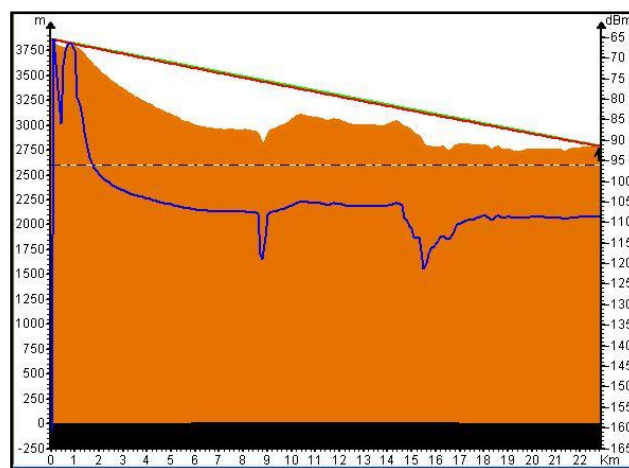


Figura 4. 3Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga

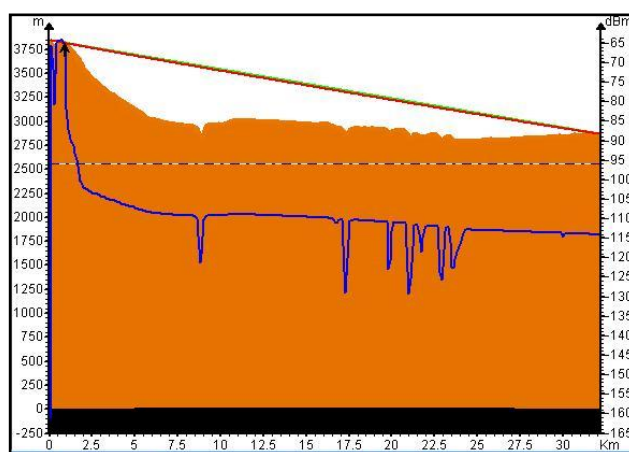


Figura 4. 4Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales

En las Figuras 4.3 y 4.4, se presentan los resultados de la simulación, donde se puede observar la factibilidad de enlace, debido a que existe línea de vista entre los tres puntos donde se va a realizar el estudio de la red. Por lo que se puede concluir que el sitio a instalar la red será entre los puntos Fuerzas Especiales, Cerro Pilisurco y ESPE Latacunga.

4.1.1.2 Factibilidad del Lugar

Mediante la visita en sitio del lugar se puede observar en la Figura 4.5, la factibilidad de acceso al Cerro Pilisurco, debido que existe una carretera que llega al punto de las antenas permitiendo acceder con todos los equipos necesarios hasta

la caseta donde se utilizará para alimentar los equipos como se muestra en la Figura 4.6.

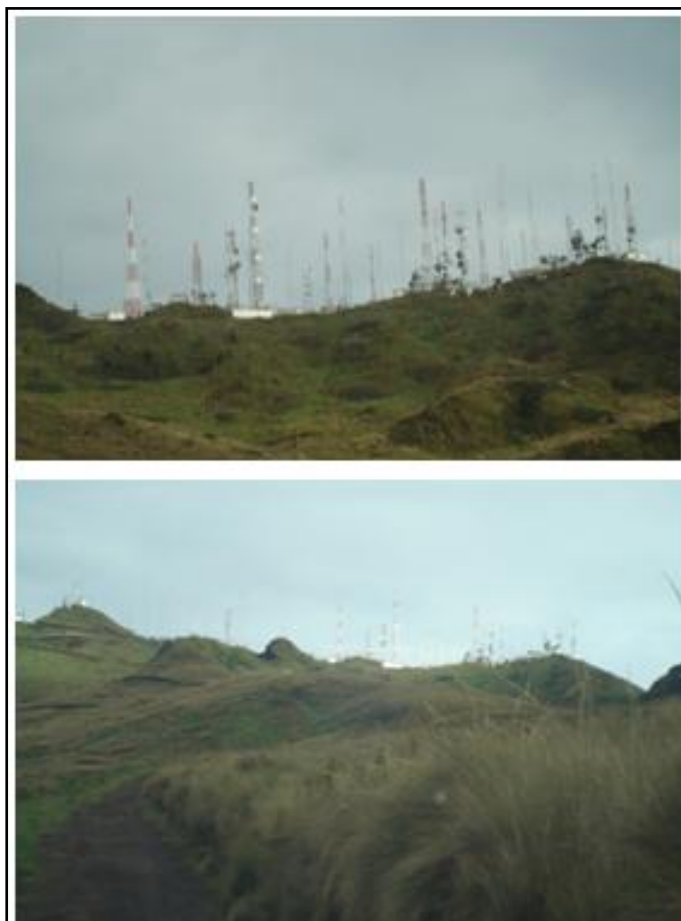


Figura 4. 5Lugar de Implementación Cerro Pilisurco



Figura 4. 6Caseta de Alimentación Cerro Pilisurco

La comunicación existente en sitio a implementar la red, se la puede realizar mediante *radiomode* que poseen las casetas de la Dirección de Información y Comunicaciones de las Fuerzas Terrestres, tanto en el punto Cerro Pilisurco como en las Fuerzas Especiales (Brigada Patria), y también mediante telefonía celular hacia la ESPE Latacunga, con una pequeña interferencia debido a que el sitio existen varias antenas de diferencias entidades públicas y privadas, como se muestra en la Figura 4.7.



Figura 4. 7Antenas Aledañas

Las condiciones climáticas que existen en el punto Cerro Pilisurco no son tan extremas, permitiendo tener una facilidad al momento de instalar la antena receptora. Así también en el punto Fuerzas Especiales y ESPE Latacunga se poseen torres con una altura de 20 m y 10 m respectivamente, que permite la instalación con mayor precisión para realizar el enlace entre los dos puntos como indica la Figura 4.8.



Figura 4. 8Factibilidad de Condiciones Climáticas

4.2 Simulación de estándar 802.11b/g

4.2.1 Modificación de parámetros en NS-2

Para la simulación de una red punto a punto a larga distancia, utilizando el estándar 802.11 en NS-2.34 se realizaron las siguientes modificaciones en cada una de las librerías que cuenta esta herramienta de simulación, previamente ingresando en la carpeta en donde se instaló NS-2 :

- En el archivo mac.h de la carpeta ns-2.34/mac:

Se modifican los tiempos, RTS, CTS, ACK y *Slottime* de acuerdo a la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3Modificación de Tiempos

Parámetro	Valor (ms)
ACK	321
RTS/CTS	321
Slot-time	159

- Para configurar los parámetros del modelo de propagación se ubican los archivos:
 - *ns-default.tcl* de la carpeta ns-2.34/tcl/lib;
 - *threshold.cc* que está ubicado en ns-2.34/indep-utils/propagation;

El modelo que se acerca más al caso real es el de *Shadowing* que intenta simular los desvanecimientos provocados por obstáculos y por la propagación multicamino que se tienen en recepción. En este modelo se define un factor exponente β que puede tomar diferentes valores según el tipo de entorno, para un error relativo del 8% el valor del factor Beta es de 2,7. La configuración del modelo de propagación *Shadowing* en el script *wifi.tcl* es de la siguiente forma [31].

```
Propagation/Shadowing set pathlossExp_ 2.7      ;# factor  $\beta$ 
Propagation/Shadowing set std_db_ 4.0          ;#desviación (dB)
Propagation/Shadowing set dist0_ 1.0          ;#distancia (m)
Propagation/Shadowing set seed_ 0             ;# seed for RNG
```

- Para cambiar la distancia en cada simulación se dirige a los archivos antes mencionados y se ubican en las líneas para su modificación:

```
Propagation/Shadowing set dist0_ 1.0          ; #reference distance (m)
```

El Anexo 3 presenta el código de programación de la simulación realizada.

4.2.2 Escenario de estándar 802.11 b/g – 2 Nodos

Se ha preparado un escenario en el cual se coloca dos nodos *wireless* entre los que se transmite paquetes de datos de un tamaño medio de 1500 bytes. Se realizaron varias simulaciones variando en cada *script* la distancia entre los dos nodos, empezando con una distancia de 1 km hasta llegar a la máxima distancia que

el simulador aceptó, los parámetros y las herramientas de simulación se las lista en la Tabla 4.4.

Tabla 4. 4 Parámetros utilizados en la simulación 802.11 b/g – 2 nodos

HERRAMIENTA	VERSIÓN
Simulador	NS 2.34
Fedora	2.28.0
Distancia máxima	25 Km
Nodos	2
Date Rate	54 Mbps
Basic Rate	11 Mbps
Ancho de Banda	11 Mb
Modelo de Antena	Omnidireccional
Protocolo de Enrutamiento	AODV
Frecuencia de Trabajo	2.4 Ghz
Ganancia de Antena	24 dBi
Protocolo de Transporte	UDP
Modelo de Propagación	<i>Shadowing</i>

La topología de la red inalámbrica se la presenta en la Figura 4.9, donde se emplea la herramienta NAM (*Network Animator*), que es el entorno gráfico para ns-2, y permite ver y crear simulaciones mediante un entorno sencillo y visual, en este caso el enlace se lo realiza desde el nodo maestro hacia el nodo esclavo que se encuentra en la parte inferior, las líneas entrecortadas que los unen simboliza la transmisión de paquetes, y las circunferencias que rodea el nodo, representa la confirmación de paquetes recibidos.

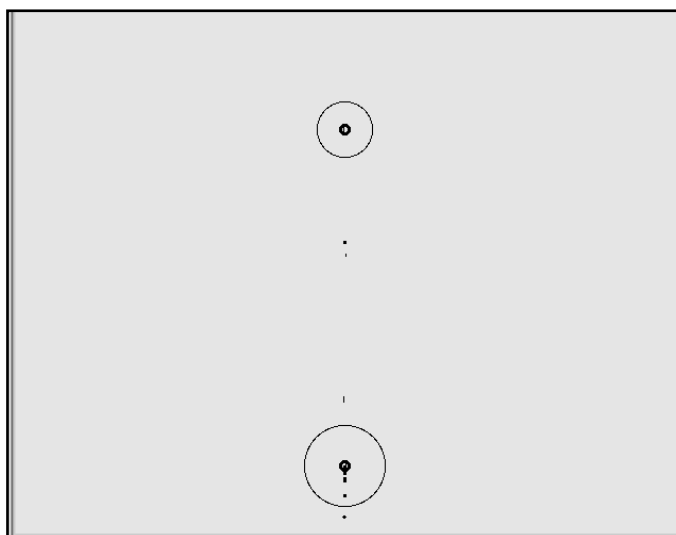


Figura 4. 9 Simulación en NS2 de 802.11b/g 2- nodos

Paquetes Enviados

Es importante notar el comportamiento que tienen los paquetes que se envían entre los nodos, por tanto se realiza la gráfica que establezca los paquetes que fueron enviados conforme aumente la distancia como se puede observar los datos en la Tabla 4.5, y se la presenta en la Figura 4.10. Con el comportamiento de los paquetes enviados se puede notar el nivel de comunicación fiable hasta los 10 km aproximadamente.

Tabla 4. 5 Datos Paquetes Enviados según la Distancia

Distancia (m)	Paquetes Enviados
1000	823
2500	1981
5000	3426
7500	5165
10000	6798
12500	8111
15000	10106

Distancia (m)	Paquetes Enviados
17500	12065
20000	14395
25000	16744
30000	16744
35000	16744

Se puede observar el cambio producido específicamente cuando la distancia entre los nodos aumenta, es decir; a mayor distancia los paquetes enviados disminuyen. Al kilómetro 15 se han recibido un 55% de los paquetes.

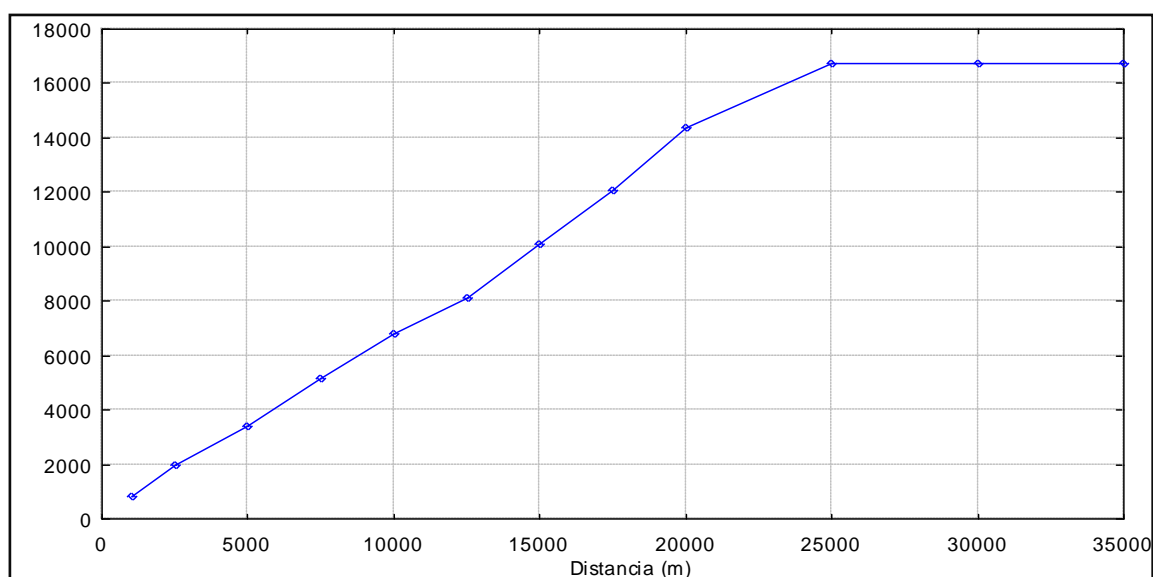


Figura 4.10 Paquetes Enviados vs Distancia (802.11b/g)

Paquetes Perdidos

En la Figura 4.11 se representa la forma en la que se pierden los paquetes con respecto a la distancia entre los nodos, tiene mayor cantidad de paquetes perdidos a medida que aumenta el recorrido entre los dos nodos como se puede observar en la Tabla 4.6; esto se produce debido al poco ancho de banda que se le asigna al intentar transmitir información.

Tabla 4. 6 Datos Paquetes Perdidos según la Distancia

Distancia (m)	Paquetes Perdidos
1000	456
2500	513
5000	734
7500	1021
10000	3895
12500	5622
15000	7012
17500	8917
20000	10498
25000	12817
30000	12817
35000	12817

El número de paquetes perdidos en los primeros 10 km no son de gran consideración pero en las aproximaciones del kilómetro 18 se pierde el 61% de los paquetes que corresponde a datos, luego de ello es mucho más evidente la pérdida de paquetes enviados. La mitad se pierde a los 14 km aproximadamente, por lo cual se necesitará tener en cuenta la distancia en la cual las pérdidas de paquetes son bastante considerables, llegando hasta el punto de 30 km donde se han perdido en un 75%.

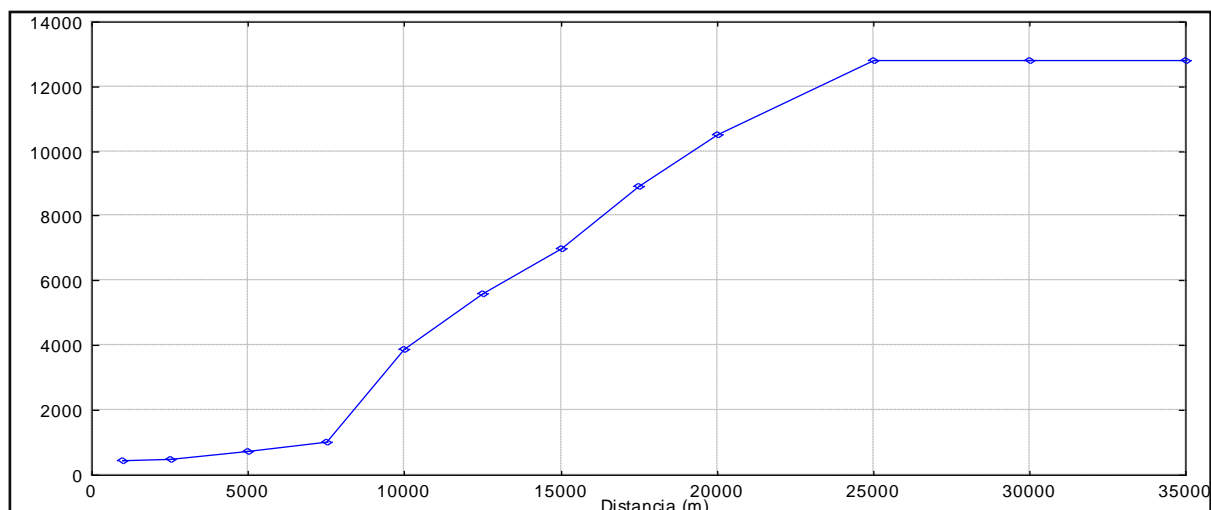


Figura 4. 11 Paquetes Perdidos vs Distancia

Delay

La Figura 4.12 representa el retraso en una transmisión que ocurre debido a la naturaleza de los canales de radio como por ejemplo la reflexión multitrayecto, y el acceso al recurso compartido de dos nodos *wireless* sin infraestructura.

El valor del retardo en esta gráfica demuestra que conforme el nodo esclavo se aleja del nodo maestro aumenta, de tal forma que para una distancia de 25 km se tiene un retardo de 643,21 milisegundos como muestra la Tabla 4.7, de acuerdo a la simulación realizada este tiempo es inaceptable para cualquier propósito de planeación de red en general, pues la norma limita el retardo hasta 400 ms [1], es decir que hasta una distancia de 15 km aproximadamente se puede tener como aceptable para muchas aplicaciones de usuario, tomando en cuenta que el administrador de la red esté atento al impacto del tiempo de transmisión en la calidad de la misma.

Tabla 4. 7Delay según la Distancia

Distancia (m)	Delay (s)
1000	2,1727
500	2,3562
5000	2,8765
7500	3,1211
10000	3,3706
12500	3,8723
15000	4,0261
17500	5,3914
20000	5,7913
25000	6,4321
30000	6,4321
35000	6,4321

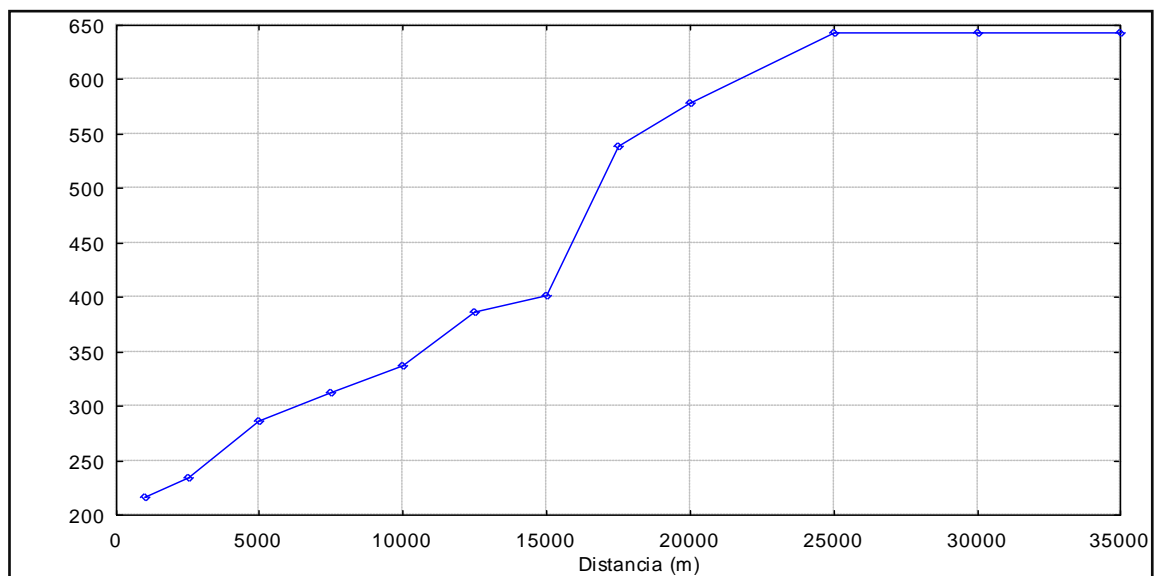


Figura 4. 12Delay vs Distancia

Throughput

Cálculo de *Throughput*

Para realizar el cálculo del *throughput* se utilizó la ecuación 3.1 [1]:

$$\eta = \frac{8 \times Ne(1 - \gamma)}{\tau} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde;

Ne: Número de bytes enviados

γ : Probabilidad de error de paquete

$$\gamma = \frac{\text{número de paquetes perdidos}}{\text{número de paquetes enviados}}$$

τ = tiempo de simulación

La determinación del *throughput* se realizó con los datos mostrados en la Tabla 4.8 adquiridos de cada simulación en NS-2 variando la distancia entre los dos nodos con un tiempo de simulación de 174,99 segundos.

Tabla 4. 8 Datos para la Determinación del *Throughput*

Distancia (m)	Ne (bytes)	Paquetes Perdidos	Paquetes Enviados	γ
1000	5416508	456	823	0,706
2500	4544173	513	1981	0,259
5000	4079287	734	3426	0,214
7500	3621654	1021	5165	0,198
10000	2846556	3895	6798	0,573
12500	2561985	5622	8111	0,693
15000	2001652	7012	10106	0,694
17500	1859276	8917	12065	0,739
20000	1269821	10498	14395	0,729
25000	1021934	12817	16744	0,765

Se procede a calcular el valor del *throughput* para cada distancia, a manera de ejemplo se realiza para la distancia de 12500 metros, reemplazando en la ecuación 3.1 los datos correspondientes de la Tabla 4.8 como a continuación se muestra:

Reemplazando en la ecuación 3.1:

$$\gamma = \frac{5622}{8111} = 0,693$$

$$Ne = 2846556$$

$$\tau = 174,99$$

$$\eta = \frac{8 \times 2846556 (1 - 0,693)}{174,99}$$

$$\eta = 39813,949 \frac{\text{bits}}{\text{seg}}$$

$$\eta = 39,813 \text{Mbps}$$

En la Tabla 4.9 se indican los valores de *throughput* y de *throughput* normalizado, que es la relación entre el valor de *throughput* normalizado y el *throughput* definido por el estándar 802.11 g que en este caso es de 54 Mbps, se observa además, que para una distancia de 35 km existe una relación de aproximadamente la mitad con respecto al valor teórico.

Tabla 4. 9 Datos de *Throughput* según la Distancia

Distancia (m)	<i>Throughput</i> (Mbps)	<i>Throughput</i> normalizado
1000	54	1
2500	53,866	0,997
5000	53,746	0,995
7500	52,983	0,981
10000	40,949	0,758

Distancia (m)	Throughput (Mbps)	Throughput normalizado
12500	39,813	0,738
15000	36,781	0,681
17500	35,992	0,666
20000	34,619	0,641
25000	30,563	0,567
30000	30,563	0,567
35000	30,563	0,567

En la Figura 4.13 se presenta de una manera gráfica el comportamiento del *throughput* normalizado con respecto a la distancia, las mediciones de dicho *throughput* se realizaron con muestreos en saltos de separación entre los nodos *wireless*, hasta llegar a la separación máxima de prueba de 25 km.

Además, se aprecia la manera en la que se otorga el ancho de banda, dependiendo de la información que se esté transmitiendo, de tal manera que la mayor cantidad de *throughput* corresponde tanto a voz como a video.

Se presenta un nivel de comunicación aceptable hasta el kilómetro 7,5, posterior a ello ocurre una disminución de *throughput*, llegando a caer en el kilómetro 10 hasta el 47% de su valor inicial, lo que ocurre por las grandes distancias que se intenta cubrir. Con esta gráfica se puede concluir que a una distancia de 35 km aproximadamente el *throughput* decayó un 56,59% del valor teórico, es decir que se obtuvo una velocidad de 30,653 Mbps.

Con los datos de la Tabla 4.9 se calcula un valor medio con los valores del *throughput* para cada 5 km, y se puede llegar a definir que por cada 5 km de distancia en el enlace el *throughput* disminuye en aproximadamente 6 Mbps.

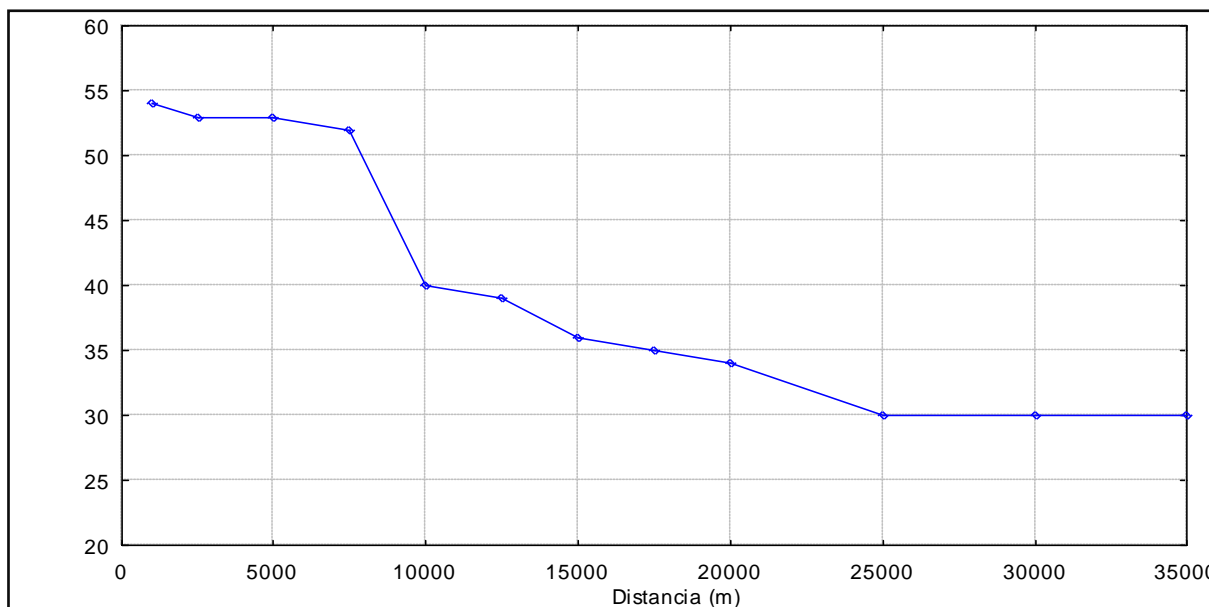


Figura 4. 13Throughput vs Distancia

4.3 Diseño de la red WILD

4.3.1 Diseño

La red Fuerzas Especiales- Pilisurco - ESPE Sede Latacunga fue desplegada con el propósito de estudiar el desempeño de una red *WiLDA* larga distancia en las zonas rurales de las provincias Cotopaxi y Tungurahua como e muestra en la Figura 4.14. La superficie cubierta supera los 400 km cuadrados; un total de 2 sistemas interconectados por enlaces *WiFilargos*.

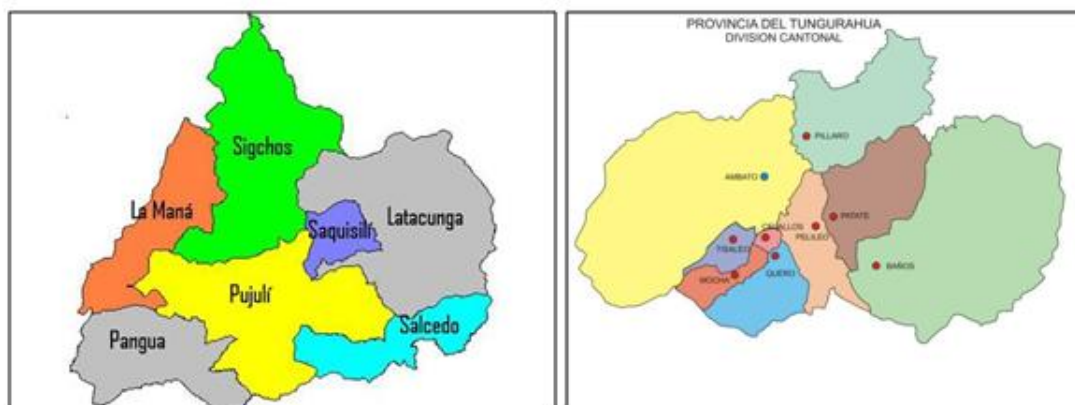


Figura 4. 14Provincia Tungurahua (derecha) y Provincia Cotopaxi (izquierda)

La red se diseñó inicialmente con ayuda del programa *Sirenet* (como indica el Anexo 4), que permite planificar los radioenlaces visualmente para asegurar línea de vista en todos los perfiles y niveles de señal recibida suficientemente bueno como se muestran en las Figuras 4.15 a la 4.18; este programa usa el modelo de la Recomendación COST 231 - HATA para estimar las pérdidas de propagación. Se tuvo en cuenta el límite de tres canales no interferentes en la banda de 2,4Ghz. La altura de las antenas se determinó en las visitas a los lugares a implementar, para asegurar que la primera zona de *Fresnel* de todos los enlaces quedara despejada al menos en un 60%.

Resultados del enlace rural Cerro Pilisurco- Fuerzas Especiales

La Tabla 4.10 muestra los resultados de la Simulación del Perfil Topográfico entre los puntos Cerro Pilisurco - Fuerzas Especiales.

Tabla 4. 10 Resultados de Simulación Cerro Pilisurco-Fuerzas Especiales

Servicio	WiFi 802.11b
Tipo de antena	Directiva tipo grilla de 24dBi de ganancia
Distancia Pilisurco - Fuerzas Especiales	34,1 km (21,2 miles)
Angulo de elevación	-2,0963°
Variación de altitud	1252,1 m
Modo de propagación	línea de vista
Mínimo despeje	2,4F1 a 0,2km
Frecuencia promedio	2410,000 MHz
Espacio Libre	130,7 dB
Obstrucción	-0,3 dB
Pérdida de propagación total	136,9 dB
Ganancia del sistema Pilisurco - Fuerzas Especiales	171,5 dB
Ganancia del sistema Fuerzas Especiales - Pilisurco	171,5 dB
Peor recepción	34,5 dB sobre la señal requerida a encontrar

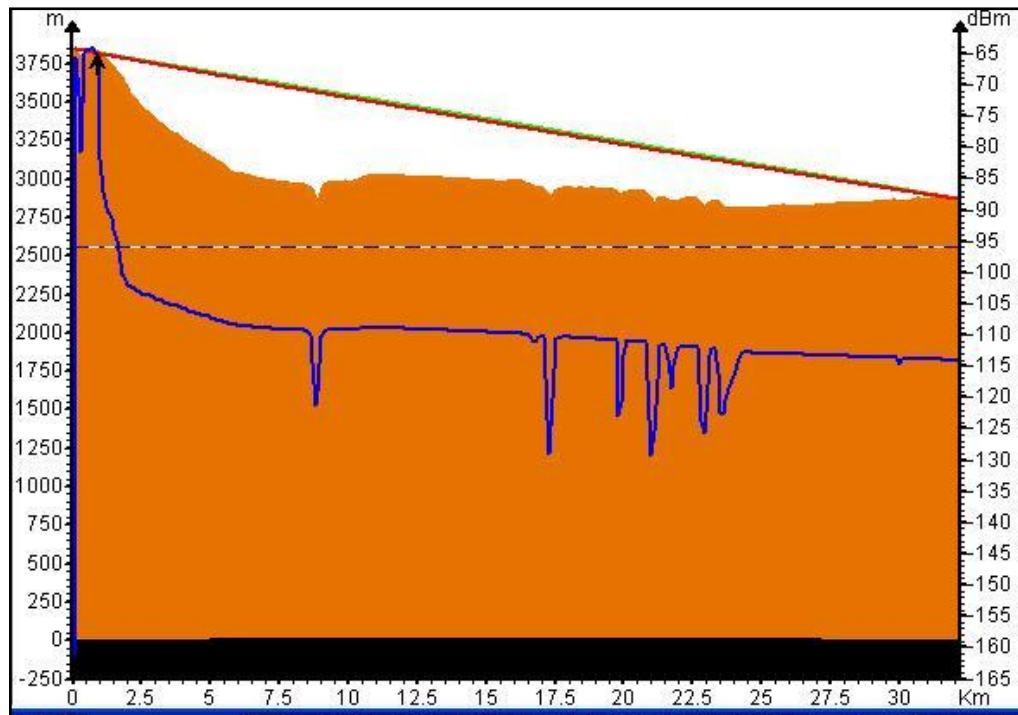


Figura 4. 15 Perfil del enlace Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales

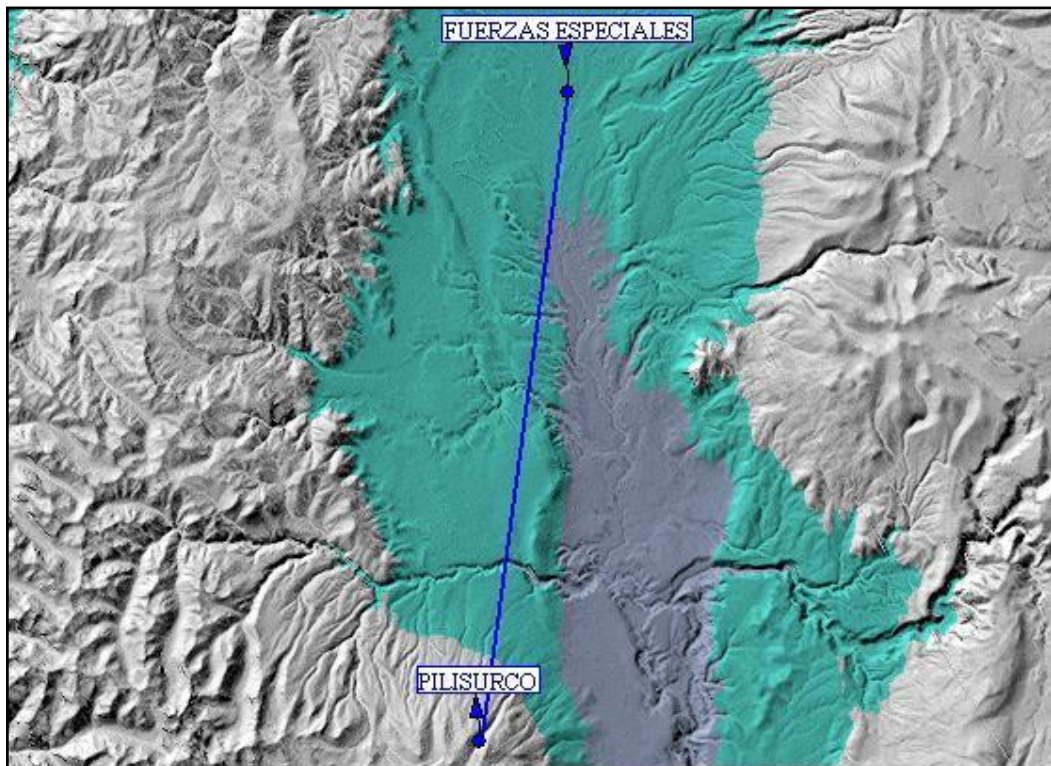


Figura 4. 16 Enlace Cerro Pilisurco – Fuerzas Especiales

Resultados del enlace rural Cerro Pilisurco- ESPE Latacunga

La Tabla 4.11 muestra los resultados de la Simulación del Perfil Topográfico entre los puntos Cerro Pilisurco - ESPE Latacunga.

Tabla 4. 11 Resultados de Simulación Cerro Pilisurco - ESPE Latacunga

Servicio	WiFi 802.11b
Tipo de antena	Directiva tipo grilla de 24dBi de ganancia
Distancia Cerro Pilisurco - ESPE Latacunga	25,2 km (15,7 miles)
Angulo de elevación	-2,9122°
Variación de altitud	1327,3 m
Modo de propagación	línea de vista
Mínimo despeje	1,3F1 a 0,3km
Frecuencia promedio	2410,000 MHz
Espacio Libre	128,1 dB,
Obstrucción	0,0 dB
Pérdida de propagación total	134,6 dB
Ganancia del sistema ESPE Latacunga -Cerro Pilisurco	171,5 dB
Ganancia del sistema Cerro Pilisurco - ESPE Latacunga	171,5 dB
Peor recepción	36,8 dB sobre la señal requerida a encontrar

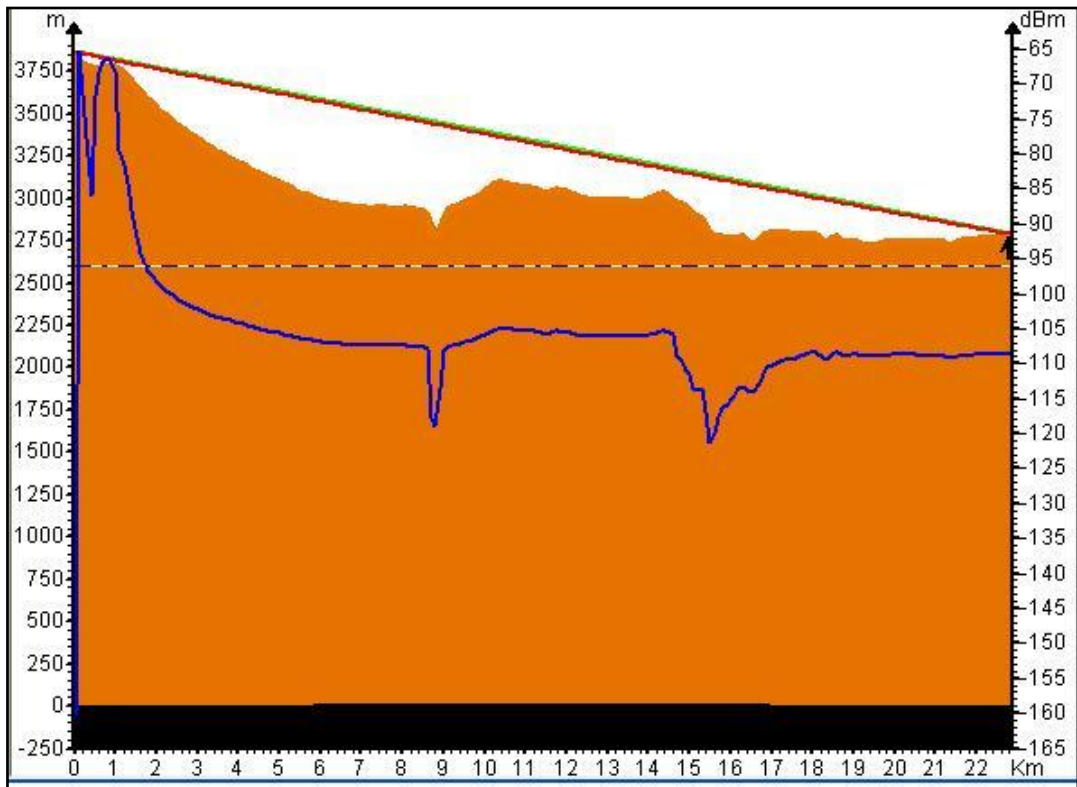


Figura 4. 17Perfil del enlace Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga

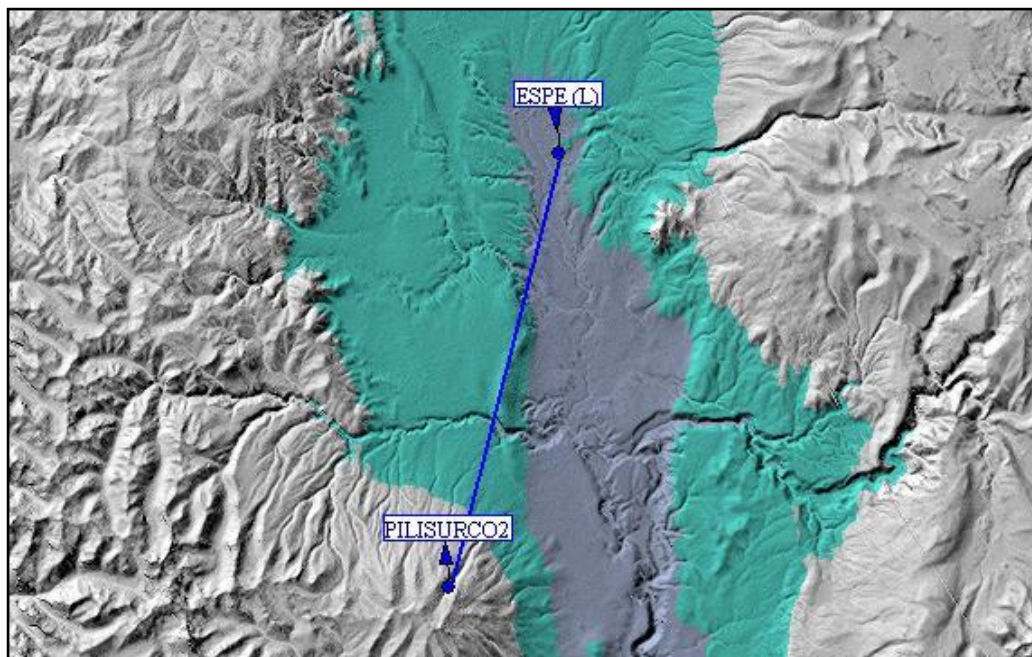


Figura 4. 18Enlace Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga

En la Figura 4.19, muestra esquemáticamente el tendido de la red que enlaza los puntos ubicados en la ESPE Sede Latacunga con la estación de las Fuerzas Especiales del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas. Se define una cadena de tres nodos, colocado estratégicamente el nodo repetidor en el Cerro Pilisurco para asegurar la línea de vista entre los nodos contiguos; estos nodos están unidos por enlaces punto a punto.

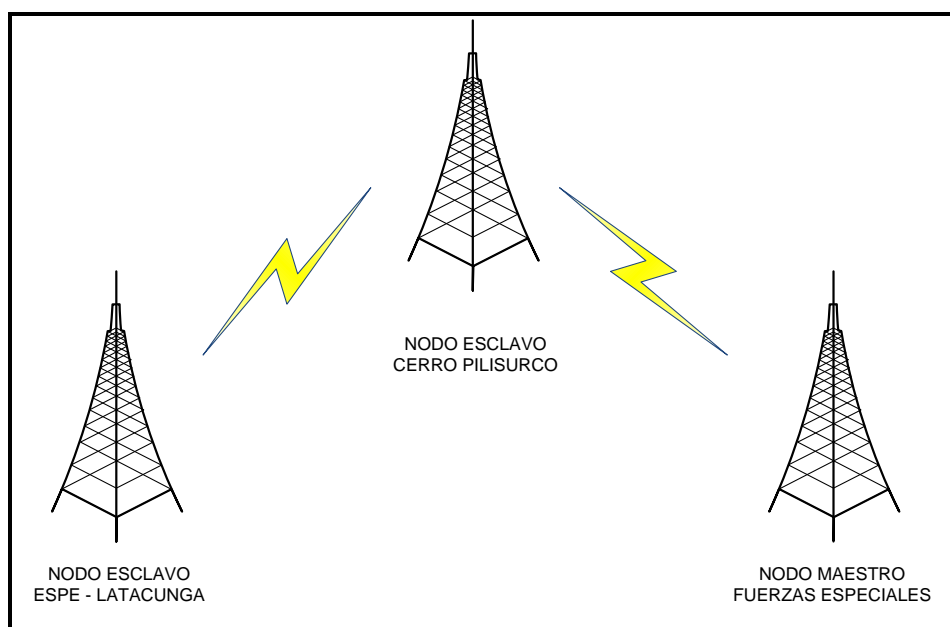


Figura 4. 19Esquema Maestro- Repetidor – Esclavo

En la Tabla 4.12 se muestra los datos georeferenciales donde se va a instalar y analizar la red inalámbrica

Tabla 4. 12Datos Georeferenciales

LUGAR	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
Cerro Pilisurco	01° 09' 06'' S	78° 39' 59'' O	4165 m
Fuerzas Especiales	00° 50' 57'' S	78° 37' 11'' O	2875 m
ESPE(Latacunga)	00° 55' 57'' S	78° 36' 35'' O	2796 m

En la Figura 4.20, muestra la ubicación geográfica de los lugares mencionados en la Tabla 4.10.



Figura 4. 20 Enlace Total de la Red

La red a instalar quedó conformada por un repetidor con lo que se establecieron dos enlaces. En la Figura 4.21 se muestra en detalle un segmento de red.

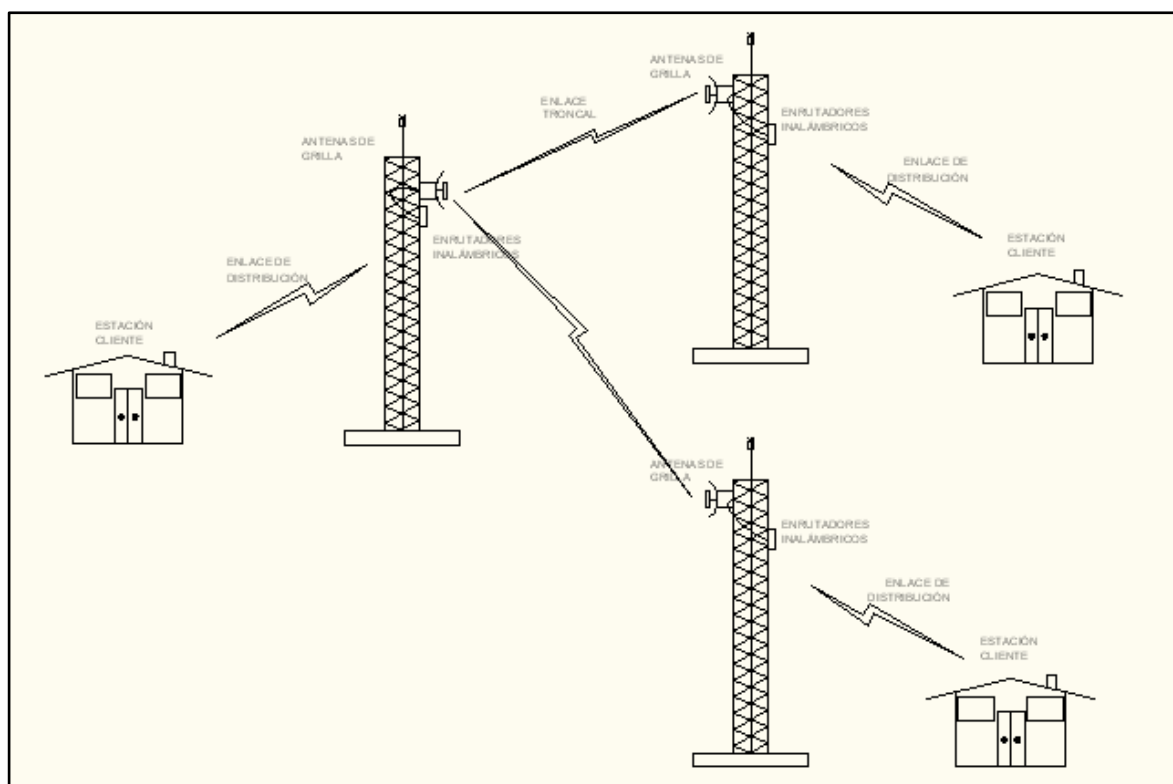


Figura 4. 21 Topología detallada de un segmento de red.

Debido a que debe existir línea de vista entre las antenas que establecerán el enlace, estas se montan en la cima de torres elevadas. Cada antena se conecta con una interfaz de red inalámbrica de una Tarjeta *Alix*.

En microondas, las pérdidas de señal en los cables coaxiales de conexión son muy elevadas, por ello la Tarjeta *Alix* debe colocarse a pocos metros de las antenas, es decir que también se monta en la torre y para energizarlo se utilizará la conexión *POE* para poder alimentar los equipos utilizados.

Se toman valores para el enlace como se indica en la Tabla 4.13, de tal manera que se sature el canal, todo esto con el fin de poder analizar el entorno de la red bajo las peores circunstancias.



Tabla 4. 13Flujo de Información Transmitida

Tamaño de Paquete	512 bytes
Total Paquetes Enviados	1000
Total de Información	512000 bytes

4.3.2 Selección de equipos y materiales

La selección de equipos y materiales se basan en parámetros tales como la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, temperatura y humedad soportada en operación, como se puede observar en la Tabla 4.14.

Tabla 4. 14Equipos y Materiales Empleados en los Enlaces de Red

EQUIPO	FABRICANTE	MODELO	CARACTERÍSTICA
<p>Tarjeta Alix</p> 	Atheros	ALIX 3D3	<p>Almacenamiento a través de una <i>Compact Flash</i>.</p> <p>Consume alrededor de 3 a 5W con 12V DC</p> <p>2 Puertos <i>Ethernet</i></p> <p>2 Puertos miniPCI</p> <p>Sistema operativo: <i>Voyage Linux</i>.</p> <p>El sistema operativo instalado es la <i>Voyage</i>.</p> <p>Alimentación POE (<i>PowerOver Ethernet</i>)</p>
<p>Cables y Conectores</p> 		Heliac SuperFlex	<p>Impedancia característica : 50</p> <p>Pérdida por metro : 0.1 dB</p> <p>Conectores usados : N macho</p>

EQUIPO	FABRICANTE	MODELO	CARACTERÍSTICA
<p>Cables Pigtail</p> 	Hyperlink		<p>Un extremo conector: UFL (Compatible con Hirose/iPax/Mini-PCI). Otro extremo conector: N hembra Longitud: 20cm Frecuencia de trabajo: 2.4GHz – 6GHz. Atenuación: 5.38dB/metro en 6GHz</p>
<p>Antenas</p> 	Hyperlink Technologies	HG2424G	<p>Antena direccional Tipo grilla de 24 dBi. Banda de 2.4 GHz Peso: 3.62Kgs</p>

4.3.3 Planos de diseño

Mediante el esquema de la Figura 4.22, muestran los equipos y la distribución que se han instalado en la implementación de la red.

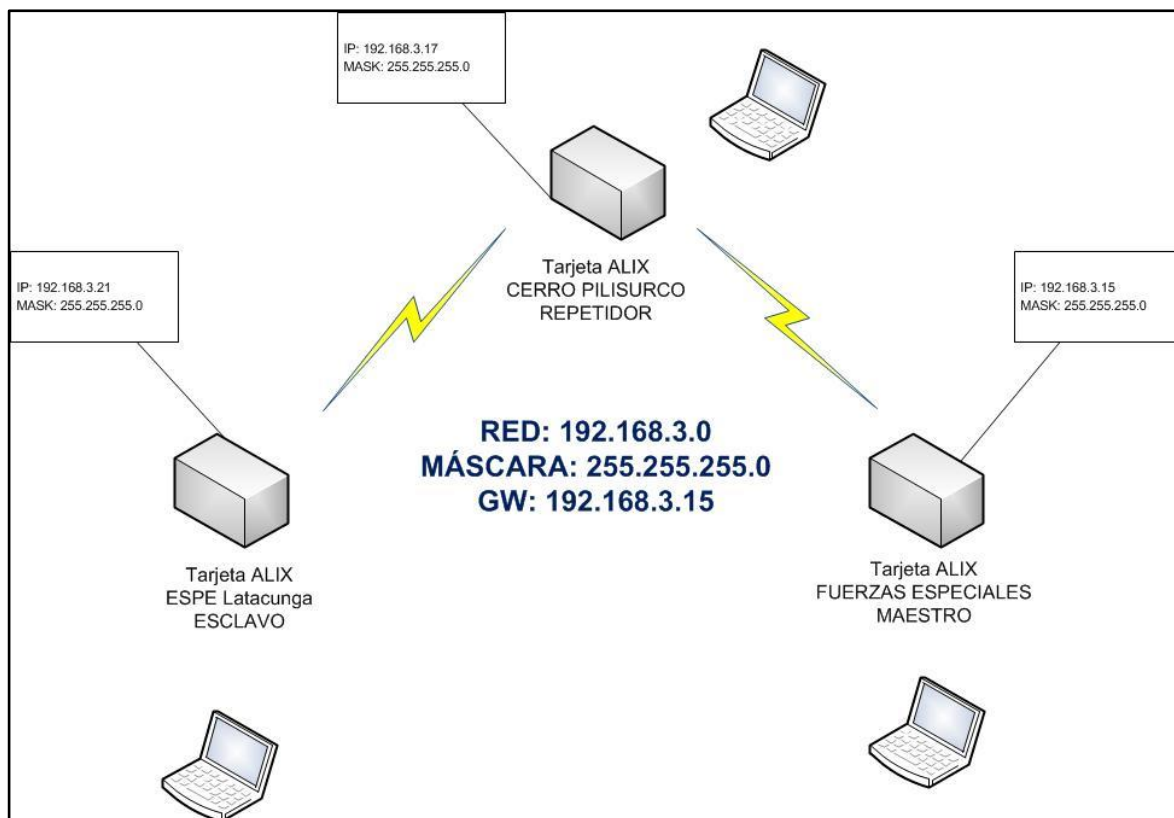


Figura 4. 22Esquema de Plano de Diseño

Se debe tener presente que se va ocupar un repetidor en el Cerro Pilisurco para poder realizar el enlace total con los puntos Fuerzas Especiales y ESPE Latacunga; en el repetidor debe existir la instalación de una placa ALIX que cuenta con dos tipos de radios inalámbricos, un radio tipo b/g, mientras que el otro es tipo a, como muestra la Figura 4.23.

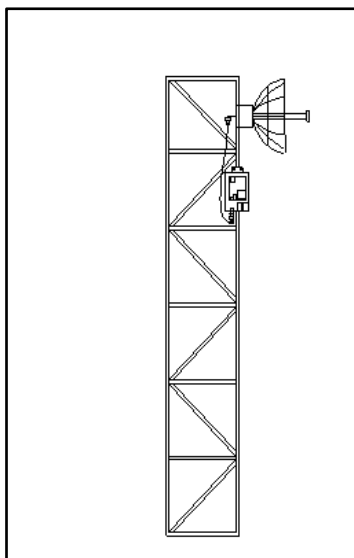


Figura 4. 23Esquema de Conexiones de la Estación Repetidora

Las antenas instaladas en la ESPE- Latacunga, Fuerzas Especiales deben estar ubicadas en el último tramo o en los últimos tramos de la torre, seguidamente vendrán las Tarjetas *Alix*. Los equipos serán instalados a una distancia entre 1.0 m y 1.5 m por debajo de las antenas de tal modo que cuando se realice un mantenimiento no se tenga problemas para desplazarse a través de la torre. Como se puede observar en la Figura 4.24.



Figura 4. 24Equipos Instalados

4.3.4 Cálculo de Propagación

Antes de montar el enlace se va a realizar cálculos para obtener un poco de orientación y poder predecir resultados. Para la realización de los cálculos es necesario tener la longitud necesaria de cable coaxial, distancia exacta entre puntos como muestra la Tabla 4.15.

Mediante la ubicación física de las redes analizadas que distan varios kilómetros entre sí; con la utilización de la tecnología 802.11b se puede alcanzar una velocidad de hasta 11Mbps.

4.3.4.1 Potencia de transmisión de las tarjetas

Según la potencia de transmisión de las tarjetas, podemos clasificarlas en dos tipos generales:

- 700 mW de potencia de transmisión (aprox. 28,45 dBm)

Cuanto mayor sea la potencia de transmisión, mayor será el alcance del enlace.

4.3.4.2 Longitud y calidad del cable coaxial

La utilización de cable coaxial es uno de los factores importantes en la instalación de las antenas, debido a que deberá ir conectado desde la antena hasta la ubicación de las tarjetas utilizadas.

Se debe tomar en cuenta que cuanto más largo sea el cable coaxial, mayor será la pérdida de señal, debido que por cada 1 metro de cable existe 0.1 dB de pérdida.

4.3.4.3 Distancia entre antenas

Conociendo la distancia que se desea cubrir en entre los dos puntos a analizar se debe tomar en cuenta que cuanto mayor sea la distancia entre antenas, mayor será la pérdida de señal. La distancia máxima del enlace Pilisurco - Fuerzas Especiales es de 34,1 km, mientras que el enlace Pilisurco - ESPE Latacunga es de 25,2 km; teniendo un total de distancia de todo el enlace de 59,3 km

Se puede calcular la pérdida de señal por propagación entre antenas mediante la ecuación 3.2:

$$Pp = 40 + 20 \times \text{Log}(d) \quad \text{Ec. 3.2}$$

Dónde:

Pp= Pérdida por propagación en dB

d = distancia en metros entre las antenas

Enlace Pilisurco – Fuerzas Especiales

$$d = 34,1 \text{ km} = 34100 \text{ m}$$

$$Pp = 40 + 20 \times \text{Log}(d)$$

$$Pp = 40 + 20 \times \text{Log}(3410)$$

$$Pp = 130,66 \text{ dB}$$

Enlace Pilisurco – ESPE Latacunga

$$d = 25,2 \text{ km} = 25200 \text{ m}$$

$$Pp = 40 + 20 \times \text{Log}(d)$$

$$Pp = 40 + 20 \times \text{Log}(25200)$$

$$Pp = 128,03 \text{ dB}$$

Enlace Fuerzas Especiales – Pilisurco -ESPE Latacunga

$$d = 59,3 \text{ km} = 59300 \text{ m}$$

$$P_p = 40 + 20 \times \text{Log}(d)$$

$$P_p = 40 + 20 \times \text{Log}(59300)$$

$$P_p = 135,46 \text{ dB}$$

4.3.4.4 Nivel Recepción

Se puede calcular el nivel de recepción de señal mediante la ecuación 3.3, en función de todos los factores que se establecen en la realización del enlace de la red inalámbrica.

$$Nrs = Pt_a - Pco_a - Pca_a + Ga_a - P_p + Ga_b - Pca_b - Pco_b \quad \text{Ec. 3.3}$$

Dónde:

Nrs = Nivel de Recepción de Señal

Pt_a = Potencia de Transmisión

Pco_a = Pérdida de Conectores

Pca_a = Pérdida Cable

Ga_a = Ganancia Antena Transmisora

P_p = Pérdida de Propagación

Ga_b = Ganancia Antena Receptora

Pca_b = Pérdida Conectores Antena Receptora

Pco_b = Pérdida Cable Antena Receptora

Tabla 4. 15 Datos Obtenidos

PARÁMETROS	VALOR
Pt_a	700mW
Pco_a	1 dB
Pca_a	0.1 dB
Ga_a	24 dBi
P_p	135,46 dB
Ga_b	24 dBi
Pca_b	0.1 dB
Pco_b	1 dB

$$Nrs = Pt_a - Pco_a - Pca_a + Ga_a - P_p + Ga_b - Pca_b - Pco_b$$

$$Nrs = 28,45dBm - 1dB - 0.1dB + 24dBi - 135,46dB + 24dBi - 0.1dB - 1dB$$

$$Nrs = -61.21dBm$$

4.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

4.4.1 Requerimientos para realizar la instalación

4.4.1.1 Lugares

Es muy importante definir el lugar donde se va a implementar la red *WiFi*, por lo que se debe tener en cuenta que exista factibilidad para poder llegar con los equipos al sitio de la implementación, así también realizar un estudio del alcance del enlace que se desea obtener, y observar si se posee línea de vista como ilustra en la Figura 4.25; teniendo en cuenta que los árboles, los edificios, tendidos eléctricos, etc. influyen en la recepción de la señal, debido que se refleja en los objetos y llega con retardo de fase a la antena receptora, pudiendo provocar pérdidas de señal.

El hielo y la nieve influyen negativamente en las antenas cuando están en contacto directo con éstas. La lluvia en sí tiene poco impacto sobre la pérdida por propagación.



Figura 4. 25 Estudio de Campo

La instalación de los puntos en los lugares estudiados permitirá tener una conexión entre dos Provincias de la Región Sierra del Ecuador (Cotopaxi - Tungurahua); teniendo un sistema de comunicación *WiFi* entre los dos puntos, para poder compartir información y recursos, con la característica de que la distancia entre los puntos a instalar es de 59,3 Km aproximadamente.

La situación de buscar un lugar alto para la instalación de la antena es debido a la calidad de la recepción, especialmente en presencia de fuentes de interferencia locales. En la mayor parte de los casos, se procurará instalar la antena lo más alta posible, de preferencia tomando en cuenta que exista línea de vista entre los dos puntos.

4.4.1.2 Utilización de Equipos

Mediante la visita realizada en el estudio de campo se debe tomar en cuenta la utilización de los equipos: GPS y Brújula para la toma exacta de las coordenadas de los puntos donde se va a realizar la implementación como muestra

la Figura 4.26, debido que no se puede visualizar entre los dos puntos ya que la distancia de separación que existe es muy grande, así también conocer a que ángulo de elevación se encuentran las torres con respecto a la línea de vista que posee entre los dos puntos.

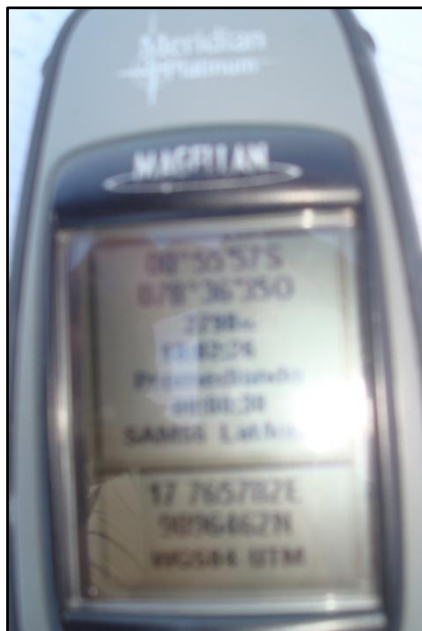


Figura 4. 26 Utilización de GPS

Las Herramientas más aconsejables que se nota para tener una gran factibilidad de implementación son:

- a. Radio de dos vías o teléfono celular
- b. Laptop dotado de software que permita medir la intensidad de la señal recibida
- c. Radios *WiFi* que se van a utilizar en el enlace con sus cables (pigtail) y antenas tipo grilla (Especificación Antena Anexo 5).
- d. Abrazaderas para sujetar la antena al tubo mástil de soporte
- e. Herramientas para los tornillos de las abrazaderas
- f. Binóculo o largavista.
- g. En caso de que la instalación se deba realizar a cierta altura, arnés y correa de seguridad para sujetarse a la torre o mástil

4.4.1.3 Suministro de energía

Para la instalación de los equipos se utilizó un sistema de alimentación de energía eléctrica con corriente alterna de 110 voltios, además se hizo uso de energía a través de cable Ethernet o *POE*; y así esta manera llegar a una altura de aproximadamente 25 metros; en donde se encuentran las antenas. En el punto del Cerro Pilisurco, el suministro de energía fue provisto por medio de un *UPS* ubicado en la caseta que se encuentra cerca de la torre como se puede visualizar en la Figura 4.27; en donde se realizaría el montaje de las antenas. En la Figura 4.28, se indica la ubicación en donde se conecta la tarjeta *Alix* PCs.



Figura 4. 27 Caseta de Alimentación en Pilisurco



Figura 4. 28 Caseta de alimentación en Pilisurco (interior)

En Espe y Brigada Patria en Latacunga, la alimentación de los equipos estuvo localizada dentro de las oficinas de los dos sitios como la Figura 4.29 indica, cabe recalcar que en Brigada Patria se contó con un armario; el mismo que tenía un *rack* y

tomacorrientes suficientes para llevar a cabo la conexión de los dispositivos, como se puede visualizar en la Figura 4.30.

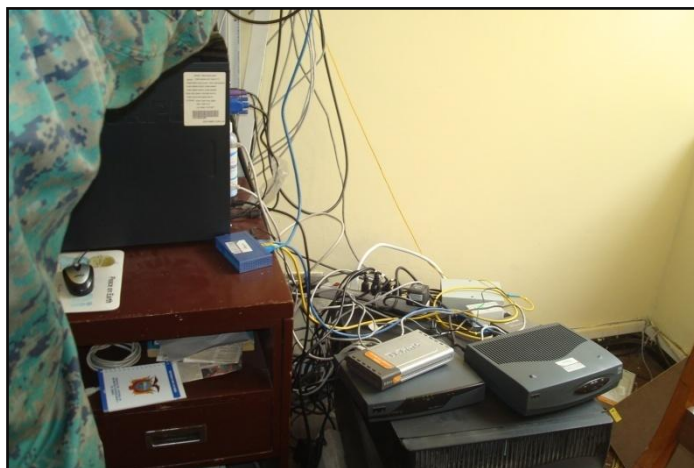


Figura 4. 29 Centro de Alimentación en Brigada Patria



Figura 4. 30 Suministro de Energía en Brigada Patria

4.4.1.4 Alineación de las antenas

En un enlace de larga distancia punto a punto uno de los objetivos grandes a cumplir es alinear las antenas lo mejor posible. En este enlace punto a punto se usaron antenas directivas de grilla de 24 dBi de ganancia, como se aprecia en la Figura 4.31. Para alinear las antenas se necesita inicialmente; conocer el ángulo de elevación y el azimut, la Tabla 4.16 resume los requerimientos mencionados, y encontrar la mejor posición apoyados por instrumentos como son; brújulas y GPS.



Figura 4. 31 Antena Directiva de Grilla

Tabla 4. 16Azimut y ángulo de elevación de los nodos

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

La alineación fue realizada como se dijo anteriormente, con el software de alineación con el que cuentan los radios *Ubiquiti*, teniendo en cuenta que en ambos extremos van a tener una polarización vertical, además en la Figura 4.32, se puede observar que existe un medidor de señal en la parte externa del radio *Ubiquiti*, el mismo que sirvió de guía para luego conectar las tarjetas *Alix* de tal forma que las antenas estén alineadas y así obtener un nivel de señal adecuado para el enlace.



Figura 4. 32 Medidor de señal en radio *Ubiquiti*

4.4.2 Instalación de Equipos

- **Brigada Patria Fuerzas Especiales**

El montaje de los equipos se realizó en el punto disponible más alto de la torre, a fin de evitar interferencias con otros equipos. En la Figura 4.33 se indica la implementación de la antena distante con los demás equipos a 1,50 metros aproximadamente .



Figura 4. 33 Instalación de Antena Directiva de grilla

La secuencia de instalación se encuentra descrita en la Figura 4.34; primero se procedió a subir la antena direccional de grilla y empotrar en la torre, luego se hizo el montaje del radio *Ubiquiti*; para que con estos dos dispositivos se encuentre la mejor posición de la antena y así alinear con la antena de Pilisurco, finalmente después de varios minutos se logró realizar el enlace y la antena quedó fijada en esa posición y se conectó a la tarjeta *Alix*; para posteriormente realizar las pruebas necesarias y así medir el desempeño de esta red.



Figura 4. 34 Secuencia de instalación de Equipos

En la Figura 4.35 se puede observar los equipos instalados, además de la antena direccional de grilla, el establecimiento de la tarjeta *Alix* y el radio *Ubiquiti* en la torre de comunicaciones, del enlace Brigada Patria (Cotopaxi) hacia el Cerro Pilisurco (Tungurahua),



Figura 4. 35 Montaje de Equipos en la torre

- **Cerro Pilisurco**

El montaje realizado de los equipos en le Cerro Pilisurco, se lo implemento en lo mas alto de la Torre debido a que existian otro tipos de antenas las cuales podian interferir con la señal que desea obtener. En la Figura 4.36 indica la implementación de la antena en el Cerro Pilisurco.



Figura 4. 36 Instalación de Antena Directiva de grilla Cerro Pilisurco

La instalación se la realizo en la Torre más alta que poseía el Comando Conjunto de las Fuerzas Terrestres, comenzando primeramente con la subida de la antena al punto más alto que poseía la torre comenzando a empotrarla ahí, una vez colocada la antena se realizó el montaje del radio *Ubiquiti*; con lo cual nos permite conocer cuando las antenas se encuentren alineadas entre ellas; luego de algunas pruebas que se realizó se determinó colocar la antena en la punta de la Torre con la ayuda del personal de las Fuerzas Terrestres que se encontraba en el lugar, comenzando así a determinar el ángulo más exacto para poder lograr llegar con el enlace a las Fuerzas Especiales (Brigada Patria, Cotopaxi), luego de varios intentos se logró establecer el enlace entre ambos extremos como indica la Figura 4.37, fijando así la antena en el punto exacto del enlace, una vez realizada la instalación en los dos puntos se procedió a conectar la tarjeta *Alix*; para posteriormente realizar las pruebas necesarias y así medir el desempeño de esta red.



Figura 4. 37 Instalación de Equipo

- **ESPE Latacunga**

En la Sede de la ESPE Latacunga se realizó el montaje de los equipos en el punto disponible más alto de la torre. En la Figura 4.38 se puede evidenciar el sitio de la implementación de la antena.



Figura 4. 38ESPE Latacunga

Para realizar la instalación de los equipos en la Torre se debe proceder a instalar la antena directiva de grilla y empotrar en la torre, una vez instalada la antena se debe realizar el montaje del radio *Ubiquiti* la Tarjeta *Alix*; para poder encontrar la mejor posición de la antena y así alinear con la antena del Cerro Pilisurco, al momento de encontrar la conexión entre los dos puntos se debe fijar la antena, para luego conectar la antena con la Tarjeta *Alix*; para posteriormente realizar las pruebas necesarias y medir el desempeño de la red.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS MEDICIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Pruebas y Mediciones

Una vez implementada la red *WiFi* con una distancia entre los tres nodos de 59,3 km aproximadamente; empleando la herramienta de *software* DITG (*Distributed Internet Traffic Generator* Anexo 6), se comenzará a inyectar tráfico desde el nodo maestro ubicado en Fuerzas Especiales hacia el nodo esclavo implementado en la ESPE Latacunga, mediante un enlace establecido con la repetidora del Cerro Pilisurco, el cual permite lograr obtener la comunicación entre los dos Establecimiento antes mencionados; las pruebas realizadas tuvieron distintos tiempos de duración de: 30, 60 y 300 segundos y se determinó en cada tiempo el valor promedio del *bitrate*, *delay*, *jitter* y *packetloss*.

Para realizar el alineamiento de las antenas se consideró la utilización de radios *Ubiquiti Power Station 2-EXT*, como se puede evidenciar la Figura 5.1; los radios presentan una interfaz gráfica que ayuda a obtener el enlace entre los tres nodos como se ilustra en la Figura 5.2; debido que la Tarjetas *Alix* posee un software de bajo nivel, el cual no permite observar gráficamente la alineación de las antenas.



Figura 5.1 Radio *Ubiquiti Power Station 2-EXT*

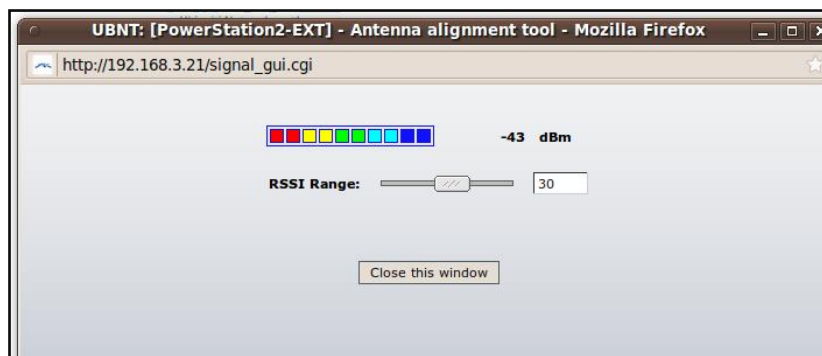


Figura 5. 2 *Software* de alineación de las antenas

Con la utilización del *software* que posee los radios antes mencionados, se obtuvo las gráficas del *throughput* de la red, y mediante comandos ingresados dentro de las tarjetas *Alix* se comprobó la conexión entre los nodos y el rendimiento de la misma.

5.2 Análisis de Resultados

5.2.1 Nivel de señal del enlace y relación de la calidad del enlace

Para analizar un enlace se debe saber qué interfaces están involucradas y qué función cumple cada equipo: Maestro (Punto de Acceso AP), Esclavo (Estación STA) o Repetidor; se puede comprobar el enlace directamente usando el comando *iwconfig* como indica la Figura 5.3; si se posee una interfaz *Esclavo* entonces se

puede escanear los AP (Maestro), mediante el comando *iwlist eth2 scan*, observando el AP al que deberá conectarse.

```
root@evelin-laptop:~# iwconfig
lo        no wireless extensions.

eth0      no wireless extensions.

eth2      IEEE 802.11abgn ESSID:"PRUEBA2"  Nickname:""
          Mode:Managed  Frequency:2.412 GHz  Access Point: 00:15:6D:FA:A9:F6
          Bit Rate=11 Mb/s   Tx-Power=32 dBm
          Retry min limit:7   RTS thr:off   Fragment thr:off
          Power Managementmode:All packets received

pan0      no wireless extensions.
```

Figura 5. 3 Comando *iwconfig*

En la figura 5.4 se observa que la red PRUEBA2 está activa, no posee seguridad y se encuentra trabajando en el canal 1, la misma que obtuvo una buena señal de recepción alrededor de -71dBm con una calidad del enlace de 2/5.

```
root@evelin-laptop:~# iwlist eth2 scan
eth2      Scan completed :
          Cell 01 - Address: 00:15:6D:FA:A9:F6
                   ESSID:"PRUEBA2"
                   Mode:Managed
                   Frequency:2.412 GHz (Channel 1)
                   Quality:2/5  Signal level:-71 dBm  Noise level:-87 dBm
                   Encryption key:off
                   Bit Rates:1 Mb/s; 2 Mb/s; 5.5 Mb/s; 11 Mb/s
```

Figura 5. 4 Comando *iwlist eth2 scan*

Los parámetros obtenidos representan la calidad del enlace; en largas distancias se puede asumir que se debe lograr un nivel entre -65dBm y -75dBm con una calidad de enlace de 20dB; al poseer un nivel por debajo de -75dBm hasta -80dBm el enlace será inestable y tendrá un bajorendimiento.

Como se puede visualizar en la Figura 5.5, mediante la utilización del comando *iwlist txpower*, presenta la potencia con la cual se encuentra trabajando la Tarjeta Inalámbrica *Alix*.

```

root@evelin-laptop:~# iwlist txpower
lo        no transmit-power information.

eth0     no transmit-power information.

eth2     2 available transmit-powers :
         0 dBm          (1 mW)
         25 dBm         (255 mW)
         Current Tx-Power:32 dBm          (1496 mW)

pan0     no transmit-power information.

```

Figura 5. 5 Potencia de Transmisión

5.2.2 Corrección del alineamiento de las antenas

En el enlace realizado entre ESPE Latacunga, Cerro Pilisurco y Fuerzas Especiales; inicialmente se obtuvo un nivel de señal de -91dBm el cual se encuentra cerca del nivel de ruido de -94dBm , lo que impide establecer el enlace; por lo tanto se realizará varias manipulaciones con las antenas para alcanzar a la corrección del alineamiento de las antenas, obteniendo un nivel -59 dBm como se puede observar en la Figura 5.7; en consecuencia el rendimiento mejoró y el porcentaje de paquetes perdidos fue menor en la mayor duración de tiempo como indica la Figura 5.8.

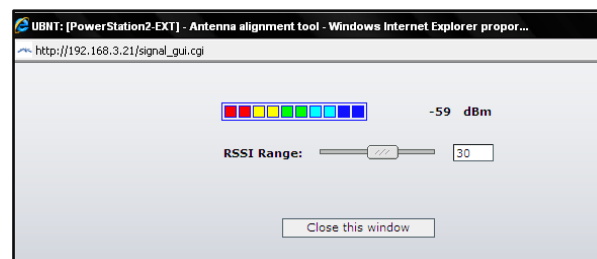


Figura 5. 6 Nivel de Señal de Alineación

```

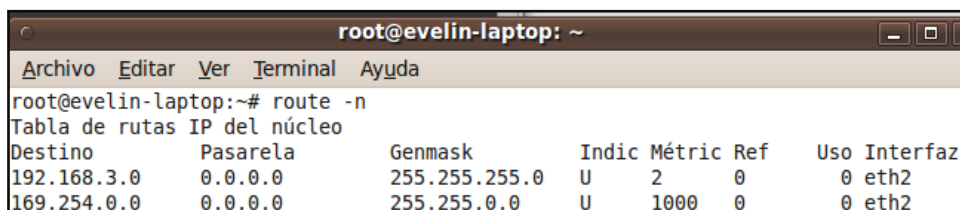
root@ubuntu: ~
Archivo Editar Ver Terminal Ayuda
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=48 ttl=64 time=13.9 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=49 ttl=64 time=9.31 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=50 ttl=64 time=5.19 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=51 ttl=64 time=10.3 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=52 ttl=64 time=8.84 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=53 ttl=64 time=4.76 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=54 ttl=64 time=2.96 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=55 ttl=64 time=5.15 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=56 ttl=64 time=5.25 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=57 ttl=64 time=8.97 ms
64 bytes from 192.168.3.21: icmp_seq=58 ttl=64 time=8.85 ms
^C
--- 192.168.3.21 ping statistics ---
58 packets transmitted, 31 received, 46% packet loss, time 57253ms
rtt min/avg/max/mdev = 2.945/10.567/29.237/7.623 ms

```

Figura 5. 7 Ping con nivel de señal de -59 dBm

5.2.3 Ping normal entre las interfaces del enlace

Una vez comprobado el enlace *WiFi* se debe verificar los parámetros TCP/IP de cada interfaz de red. En la Figura 5.9 se observa que la dirección y la máscara de red es 192.168.3.0 255.255.255.0 respectivamente, además se indica la única ruta existente con el comando *route -n*.



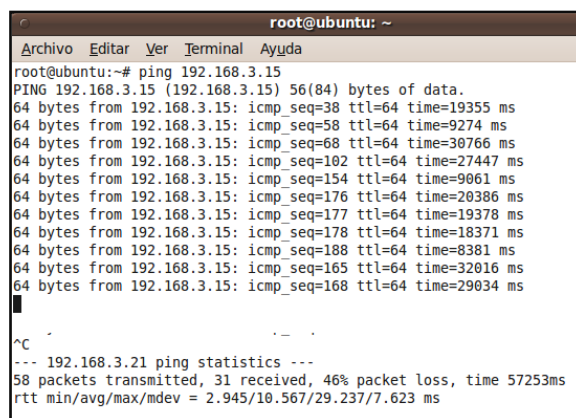
```

root@evelin-laptop:~# route -n
Tabla de rutas IP del núcleo
Destino          Pasarela          Genmask          Indic Métric Ref       Uso Interfaz
192.168.3.0      0.0.0.0           255.255.255.0   U      2     0         0 eth2
169.254.0.0      0.0.0.0           255.255.0.0     U     1000    0         0 eth2

```

Figura 5. 8Comando *route -n*

Mediante la utilización del comando *ping*, se puede observar la conectividad entre las interfaces entre los extremos del enlace, obteniendo una oscilación entre 1 a 3ms en un enlace aceptable. En la Figura 5.10 se constató que cada dato transmitido tiene un tiempo promedio de transmisión de 20315 ms, teniendo un 46% de pérdida de paquetes de 58 paquetes enviados en un tiempo de 57,235 segundos.



```

root@ubuntu:~# ping 192.168.3.15
PING 192.168.3.15 (192.168.3.15) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=38 ttl=64 time=19355 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=58 ttl=64 time=9274 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=68 ttl=64 time=30766 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=102 ttl=64 time=27447 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=154 ttl=64 time=9061 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=176 ttl=64 time=20386 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=177 ttl=64 time=19378 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=178 ttl=64 time=18371 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=188 ttl=64 time=8381 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=165 ttl=64 time=32016 ms
64 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=168 ttl=64 time=29034 ms
^C
--- 192.168.3.21 ping statistics ---
58 packets transmitted, 31 received, 46% packet loss, time 57253ms
rtt min/avg/max/mdev = 2.945/10.567/29.237/7.623 ms

```

Figura 5. 9Ping a la estación esclavo desde la estación maestro

5.2.4 Ping con mayor tamaño entre las interfaces del enlace

Un ping con mayor bytes transmitidos muestra una aproximación de la carga que puede soportar el enlace; esto se observa en la regularidad del tiempo de

transmisión de paquetes y la pérdida de éstos. Al transmitir 1500 bytes en un enlace a larga distancia, el tiempo de cada ping debe ser uniforme y estar alrededor de 40 a 80 ms como indica la Figura 5.11; al obtener una irregularidad notable por ejemplo saltos de 80ms a 120ms en varios pings, se debe seguir vigilando y revisar el enlace.

La pérdida de paquetes debe ser muy baja o casi nula comparada con la cantidad que se está enviando en total, como se puede observar en la Figura 5.12 la pérdida de paquetes es del 4% del total de paquetes enviados. De la misma manera que el ping normal, esta prueba está relacionada con la distancia, el nivel y calidad del enlace.

```
root@evelin-laptop:~# ping 192.168.3.24 -c 50 -s 1500
PING 192.168.3.24 (192.168.3.24) 1500(1528) bytes of data.
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=1 ttl=64 time=38.8 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=2 ttl=64 time=62.8 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=3 ttl=64 time=82.6 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=4 ttl=64 time=8.04 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=5 ttl=64 time=8.03 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=6 ttl=64 time=48.1 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=7 ttl=64 time=71.6 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=8 ttl=64 time=91.8 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=9 ttl=64 time=13.7 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=10 ttl=64 time=35.5 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=11 ttl=64 time=62.8 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=12 ttl=64 time=81.5 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=14 ttl=64 time=8.12 ms
1508 bytes from 192.168.3.24: icmp_seq=15 ttl=64 time=46.8 ms
```

Figura 5. 10Ping de estación esclavo hacia estación maestro

```
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=4 ttl=64 time=118 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=5 ttl=64 time=39.5 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=6 ttl=64 time=69.3 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=7 ttl=64 time=84.4 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=8 ttl=64 time=106 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=9 ttl=64 time=27.3 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=10 ttl=64 time=54.8 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=11 ttl=64 time=71.7 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=12 ttl=64 time=93.4 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=13 ttl=64 time=116 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=15 ttl=64 time=59.2 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=16 ttl=64 time=80.0 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=17 ttl=64 time=102 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=18 ttl=64 time=127 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=19 ttl=64 time=45.1 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=20 ttl=64 time=67.8 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=21 ttl=64 time=90.1 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=22 ttl=64 time=112 ms
1508 bytes from 192.168.3.15: icmp_seq=23 ttl=64 time=71.3 ms
^C
--- 192.168.3.15 ping statistics ---
23 packets transmitted, 22 received, 4% packet loss, time 22034ms
rtt min/avg/max/mdev = 12.526/78.302/127.650/29.861 ms
```

Figura 5. 11Ping de estación esclavo hacia estación maestro (2)

5.2.5 Medición en el rendimiento de un enlace

La prueba con ping simple y de mayor tamaño se hace simultáneamente con la prueba del rendimiento que presenta la herramienta del software de los Radios

Ubiquiti; y estas tres están relacionados directamente con la distancia configurada. Grandes distancias entre el transmisor y el receptor comunicadas a través de una repetidora causará el deterioro del *throughput* debido a que el aumento en el número de errores (*bit error rate*, BER) crea la necesidad de retransmisiones.

Verificando el buen nivel de señal y la pérdida de paquetes en el enlace; el rendimiento que se obtendría estaría entre 3 y 9 Mbps, debido a las pérdidas en el trayecto ocasionadas por distintos factores como son; estabilidad de la antena en la torre y pequeñas obstrucciones por vegetación.

Es interesante notar que en las redes inalámbricas IEEE 802.11 a larga distancia, la presencia de interferencias severas provoca que el desempeño de la red decaiga, el resultado de esa acción es que disminuye la capacidad de la red inalámbrica. En la Figura 5.13 se muestra el peor rendimiento que es de 83,8 Kbps, que fue tomado en el transcurso de tiempo que la red quedó implementada enlazando las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, ya que teniendo en cuenta la relación que existe entre el nivel de ruido y la velocidad configurada; el rendimiento cayó por debajo de 1 Mbps; lo que generalmente se considera un enlace de baja calidad que requiere una corrección en la alineación de las antenas del enlace punto a punto.

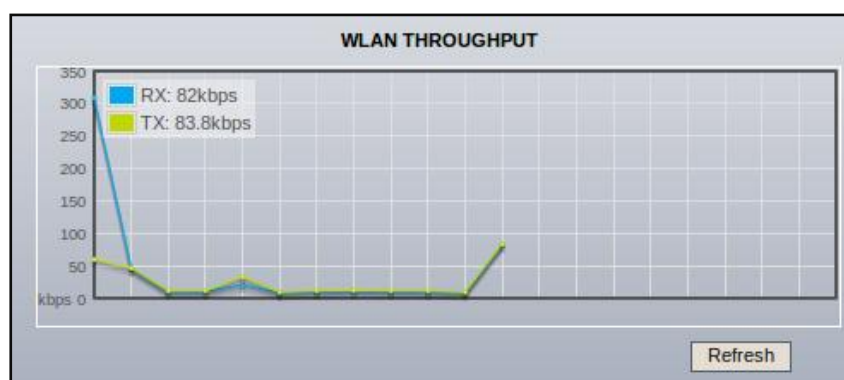


Figura 5. 12Rendimiento de baja calidad

De la Figura 5.14 se observa que el mejor desempeño de la red es de 2,29 Mbps que se obtiene considerando que ésta ópera a la máxima tasa disponible de transmisión de datos que es de 11 Mbps, y el deterioro que se experimenta en el

rendimiento de la red. En este caso la tasa de transmisión de 11 Mbps no puede ser mantenida y baja al 20% de la tasa definida por el estándar 802.11 b, el cambio de la tasa producirá un impacto significativo en el desempeño de la red.

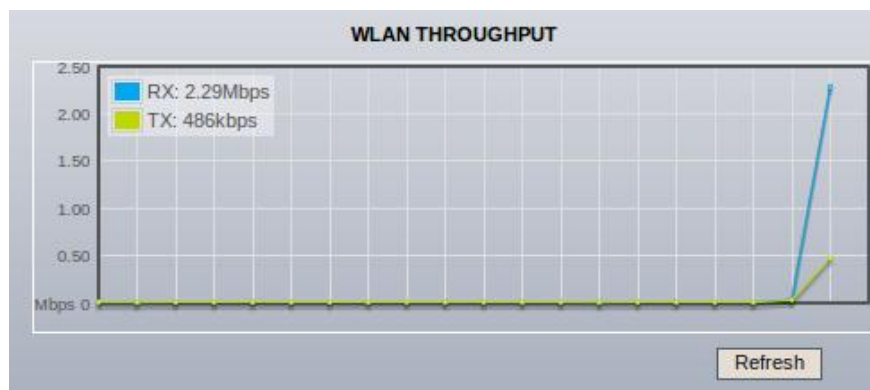


Figura 5. 13 Rendimiento máximo de la red

5.3 Inyección de Tráfico

La inyección de tráfico fue realizada con la ayuda del programa D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) que es una plataforma de código abierto para la generación de tráfico para paquetes con tamaño y tiempo inter – salida variable.

5.3.1 Configuración de D-ITG

Para realizar las diversas pruebas es necesario configurar los equipos que intervendrán en la comunicación correctamente, cada vez que se haga una prueba se debe copiar el *log* resultante y sus análisis obtenidos mediante la herramienta *Analyzer*, en una carpeta distinta a la original ya que la información se sobre escribe.

- **EMISOR**

Para la configuración en el equipo maestro primeramente se debe definir el flujo de datos como se puede observar en la Figura 5.15 con los parámetros resumidos en la Tabla 5.1.

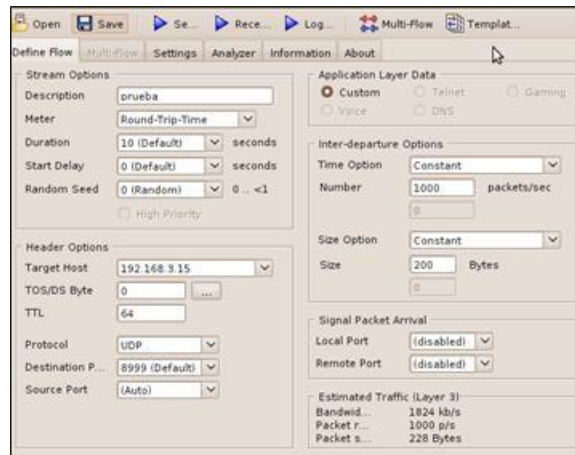


Figura 5. 14 Definición de flujo en emisor

Tabla 5. 1 Parámetros en emisor

Parámetro	Valor
Dirección destino	192.168.3.15
TTL	64
Protocolo	UDP
Número de paquetes por segundo	1000
Tamaño (<i>bytes</i>)	512

La configuración del emisor se indica en la Figura 5.16; en la misma se especifica la dirección binaria y del *log* en donde se encuentran los archivos, el fichero de registro a enviar se denomina *itgsend.log* y se renombró el archivo de salida que se alojará en el receptor. En la Tabla 5.2 se indican las medidas del receptor y emisor.

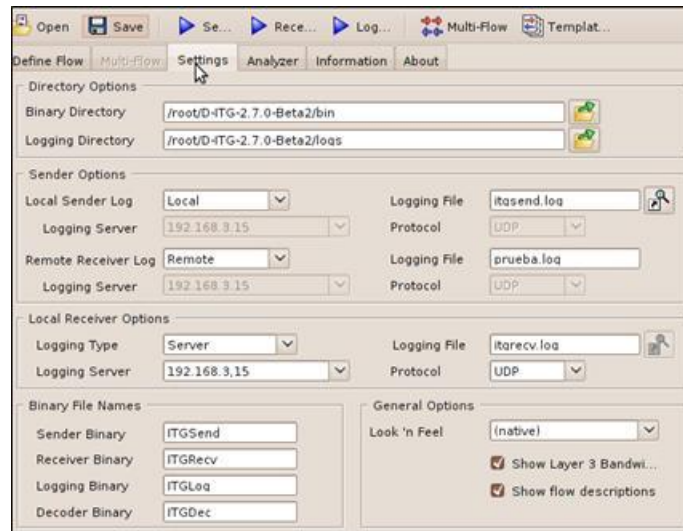


Figura 5. 15 Configuración de emisor (2)

Tabla 5. 2 Parámetros del emisor

Parámetro	Tipo
Registro del Emisor	Local
Registro del Receptor	Remoto
Opciones del Receptor	Servidor
Local	Dirección de destino

En la pestaña *Analyzer* como se muestra en la Figura 5.17, se determina las direcciones del archivo de entrada y de salida, además se señalan los ficheros que se desean generar, en este caso se obtuvieron archivos .txt que resumen los resultados de la simulación, y los archivos .dat que posteriormente servirán para obtener las gráficas de *delay*, *jitter*, *packet loss* y *throughput* con la herramienta *ITGplot*. Esta configuración es válida para el equipo receptor.

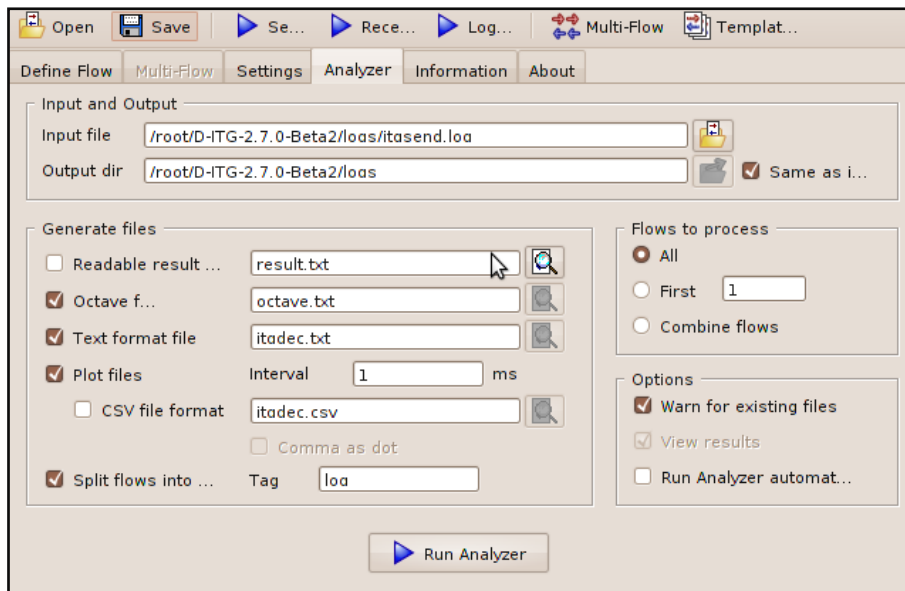


Figura 5. 16 Configuración de *Analyzer* en emisor

- **RECEPTOR**

La configuración en el receptor se asemeja a la del inyector en el equipo emisor, con la única diferencia que el *host* objetivo es local, como se muestra en la Figura 5.18.

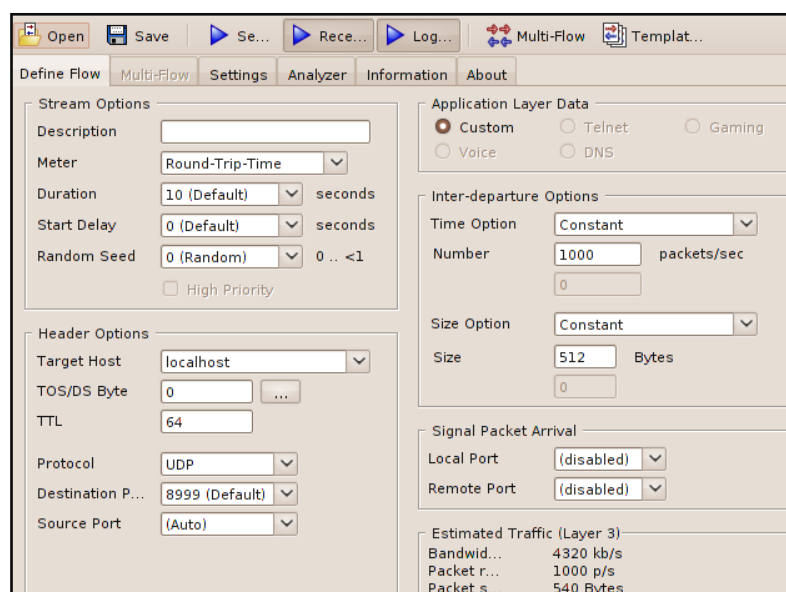


Figura 5. 17 Configuración del equipo receptor

En la pestaña de *Settings* se definen las direcciones del archivo *log* y el archivo binario, además se configuran las opciones del emisor y receptor como la Figura 5.19, demuestra a continuación la Tabla 5.3.

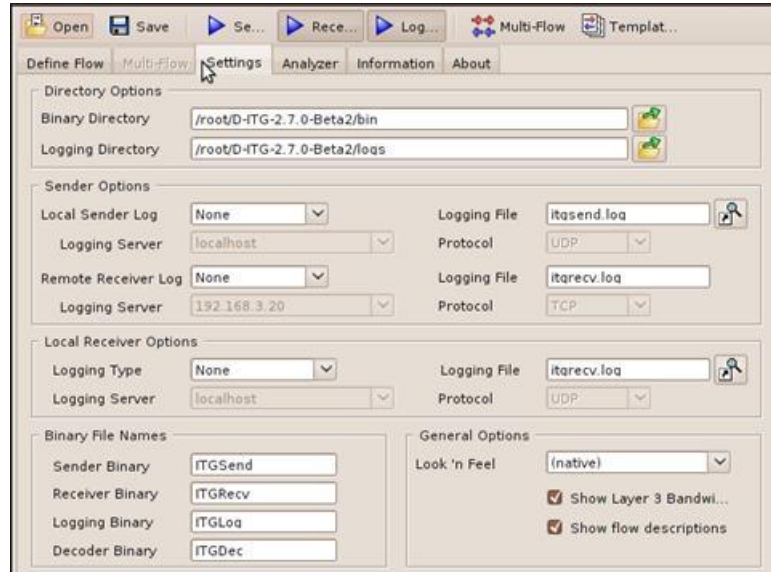


Figura 5. 18 Configuración *Settings* en receptor

Tabla 5. 3 Parámetros definidos en equipo receptor

Parámetro	Tipo
Registro del Emisor	<i>None</i>
Registro del Receptor	<i>None</i>
Opciones del Receptor	<i>None</i>
Local	----

5.3.2 Resultados Obtenidos

Tabla 5. 4 Cuadro de Resultados de D-ITG

Número de Flujo: 1	
De: 192.168.3.24:34070	
Para: 192.168.3.15:8999	
Tiempo Total	301.196887 s
Total de Paquetes	1081
Mínimo Delay	4.654760 s
Máximo Delay	23.617379 s
Promedio Delay	8.800920 s
Promedio Delay	0.108539 s
Desviación del Estándar de Delay	5.307768 s
Bytes Recibidos	553472
Promedio Brite	72.352961 Kbit/s
Promedio de la Velocidad de Paquetes	17.664297 pkt/s
Paquetes perdidos	276480 bytes (54%)
Tamaño Promedio de Perdida de Ventana	387.348993 pkt

5.4 Análisis de Gráficas

La calidad de servicio es un conjunto de parámetros de calidad de transmisión que delimitan las características de cierto flujo de información y gracias a esto se puede dimensionar la capacidad de la red. El objetivo de este proyecto es medir el desempeño de la red por medio de parámetros de Calidad de Servicio *QoS* como son; *delay*, *jitter*, porcentaje de paquetes perdidos y *throughput*.

La calidad de servicio garantiza la transmisión de datos en ciertas condiciones que ya se encuentran establecidas por diferentes entidades que controlan los servicios *WiFi*, una de estas condiciones es que el tiempo de retardo de extremo a extremo de los datos no

exceden un nivel específico de tiempo y además garantiza un determinado ancho de banda para un servicio específico.

Durante cada inyección de tráfico, *D-ITG* guarda los ficheros con información sobre los resultados, llamados ficheros de *logs*. Estos ficheros se almacenan en un servidor de *logs* que en estos experimentos fue el ordenador receptor del tráfico. La información recogida en los ficheros de *logs* se procesa mediante comandos de *D-ITG* para obtener unos ficheros *.dat* que contienen la información sobre el *throughput*, la latencia, los paquetes perdidos y el *jitter*. Estos ficheros pueden ser fácilmente procesados con cualquier herramienta de análisis de datos para generar las gráficas de resultados.

5.4.1 Delay

La Figura 5.20 muestra la evolución de la latencia frente al tiempo, para un tamaño de paquete de 200 bytes, el retardo existente en la red fue obtenido después de realizar las pruebas con el inyector *D-ITG* durante un tiempo de 60 segundos. La inyección del tráfico corresponde al flujo de paquetes que se envían desde la dirección 192.168.3.24 del equipo emisor a la dirección destino 192.168.3.15, el flujo agregado entregó como resultado un retardo promedio de los picos máximo de 6 segundos, teniendo unos picos que sobrepasan los 20 segundos ocasionados por el simulador.

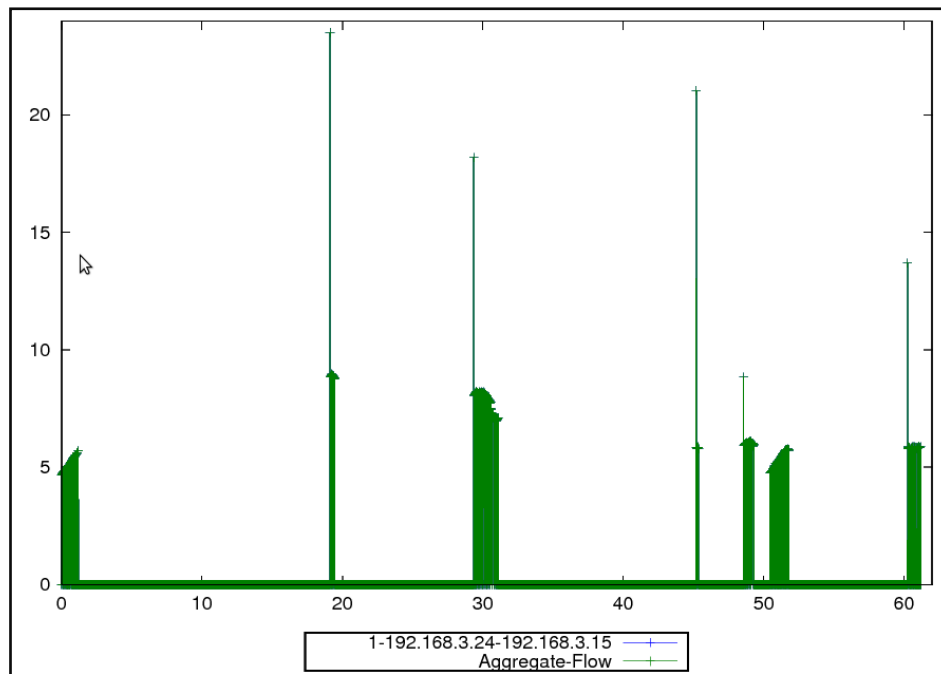


Figura 5.19 Delayen D-ITG

Para obtener una mejor representación de las gráficas y de esta manera poder realizar un mejor análisis de las mismas, se utilizó la herramienta *GNUplot* como se detalla en el Anexo 7. Este programa permite importar los archivos que tienen el formato *.dat* y generar gráficas con un rango de tiempo según sea lo requerido. En la Figura 5.21 se muestra la gráfica del *delay* en un período de tiempo de 0 a 0,8 segundos, esto se debe a que permite tener un tiempo de muestreo en el que se visualice la gráfica de forma más exacta y así poder tener un mejor análisis de resultados, como se puede observar en la Figura 5.20, existen trama de datos en los cuales se puede escoger para obtener una mejor representación de las gráficas, en nuestro este caso se escogió el primer tramo para el análisis del mismo.

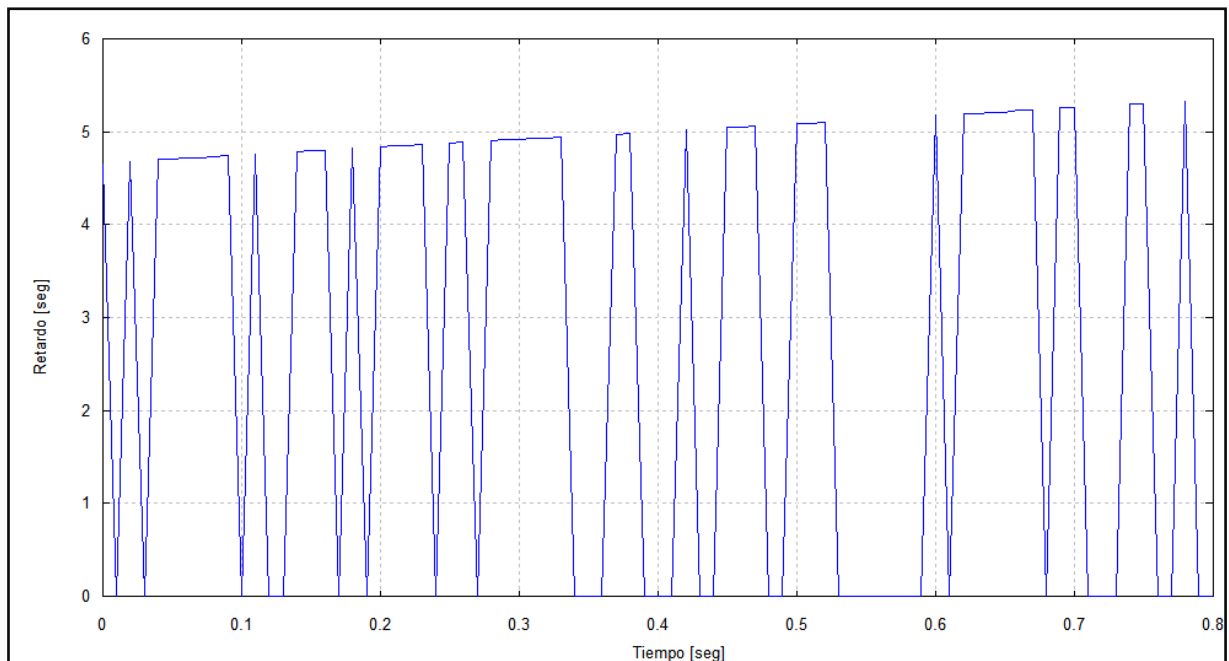


Figura 5. 20*Delay en GNUPlot*

En la Figura 5.21 se puede destacar que el *delay* es positivo, esto significó que las máquinas involucradas en la inyección de tráfico fueron sincronizadas por medio de la utilización de herramientas como *ntpdate* y *watch[1]* propias de *Linux*, en ambos puntos, estas herramientas realizaron ajustes de la deriva del reloj cada segundo. El retardo máximo en esta transmisión fue de 5 segundos durante un espacio de tiempo de 2 segundos del período de la inyección de tráfico, a partir de esto el valor promedio que se obtuvo fue de 0,000941 seg como indica la Tabla 5.4, en la duración de 10 segundos, lo que significa que el retraso en la red no fue significativo y que varía de acuerdo al tiempo en el que se mantiene la transmisión de los paquetes. El retardo del tiempo RTT (*round-trip time*) experimentado es causado por el protocolo MAC de contención, la carga de tráfico, las colisiones de paquetes, el retardo de procesamiento entre los nodos finales y las interferencias en el canal como se puede observar en la Figura 5.22 que muestra los canales en uso.


```
root@ubuntu:~# iwlist eth2 frequency
eth2    14 channels in total; available frequencies :
        Channel 01 : 2.412 GHz
        Channel 02 : 2.417 GHz
        Channel 03 : 2.422 GHz
        Channel 04 : 2.427 GHz
        Channel 05 : 2.432 GHz
        Channel 06 : 2.437 GHz
        Channel 07 : 2.442 GHz
        Channel 08 : 2.447 GHz
        Channel 09 : 2.452 GHz
        Channel 10 : 2.457 GHz
        Channel 11 : 2.462 GHz
        Channel 12 : 2.467 GHz
        Channel 13 : 2.472 GHz
        Channel 14 : 2.484 GHz
        Current Channel:1
```

Figura 5. 21 Canales en la banda de 2,4 GHz

El grado de interferencia depende de las posiciones relativas de las tarjetas. La colocación de las Tarjetas *Alix* cerca de otros equipos de radio frecuencia que se encontraban en la torre, provocó interferencias, además la pérdida del rendimiento debido a la interferencia intercanal, es decir, la degradación fue casi la misma cuando el canal 1 y 6 se utilizó en comparación con el caso cuando el canal 1 y 11 fueron empleados. Esta interferencia surge debido a los filtros imperfectos presentes en las tarjetas.

5.4.2 *Jitter*

Jitter es una variación o perturbación en los pulsos de una transmisión digital, ya que puede considerarse, en cierto sentido, como pulsos irregulares. *Jitter* puede manifestarse a través de variaciones en la amplitud, intensidad de la señal. Las causas más comunes incluyen tiempos de espera de conexión, congestión del tráfico de datos, y la interferencia.

En la Figura 5.23, se puede observar que existe una diferencia de amplitud al momento de la transmisión de datos, ya que en los periodos en el cual se envía la información existe congestionamiento en la red, por causa de pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino. Para poder obtener una mejor visualización en los resultados obtenidos, con

la ayuda de la herramienta *GNUPlot*, se realizará la toma de datos de la mejor trama para poder llevar a cabo el análisis correspondiente de *Jitter*.

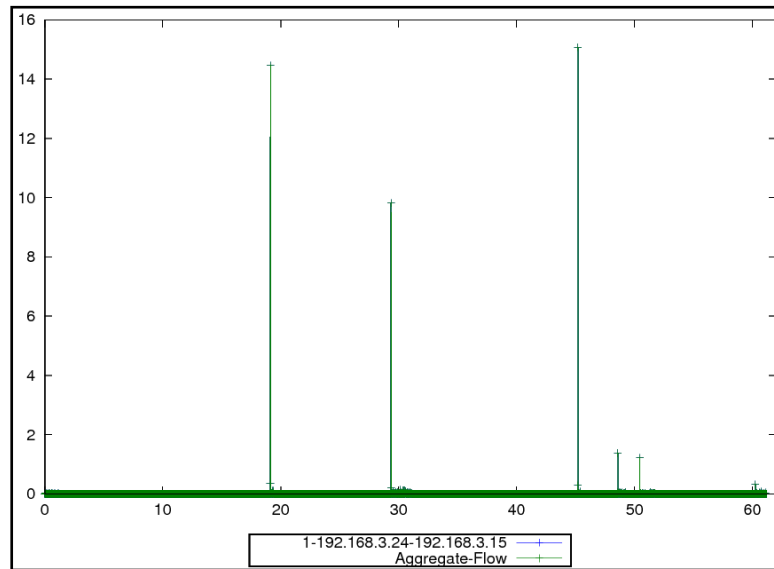


Figura 5. 22Jitter de la Red WiLD

La Figura 5.24, se presenta el promedio mínimo de *jitter* de 0,008 segundos, esto se produce debido que algunos paquetes tuvieron un tiempo menor para el retardo del receptor. Con los datos obtenidos se pudo evidenciar que el valor de *jitter* fue mayor cuando se aumentó el flujo, esto se presenta cuando el tráfico es más denso y desordenado, provocando que los paquetes lleguen con retardos, ya que el transmisor como el receptor son diferentes, teniendo en cuenta que en algunos lapsos de tiempo no se encuentran sincronizados. El valor promedio máximo que se obtuvo en el transcurso de la inyección de tráfico es 0,108539 segundos como se muestra en la Tabla 5.4.

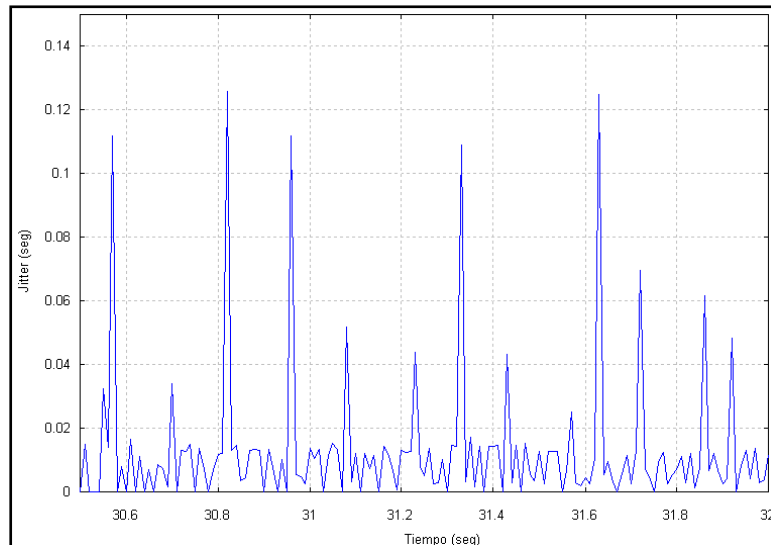


Figura 5. 23*JitterGNUPlot*

5.4.3 Paquetes Perdidos

Las redes *WiFi* son a menudo una fuente de pérdida de paquetes, por lo general van desde un bajo nivel de pérdidas menor al 0,5% de los paquetes a niveles extremadamente altos de más de un 50% de los paquetes. Esto se debe especialmente a las interferencias de varios dispositivos adyacentes a la red que compiten por el acceso al canal inalámbrico y a la conexión a un Punto de Acceso.

La comunicación de la red a una distancia de 59,3 km aproximadamente, utilizando el estándar 802.11; obtuvo mínimas interferencia de los dispositivos que poseen una misma infraestructura, como también los fallos en *hardware* y *software* que provocaron la pérdida del enlace en varios períodos de tiempo.

La Figura 5. 25 representa los paquetes perdidos en la transmisión de la red implementada. En el periodo de tiempo de 300 segundos en la inyección de tráfico; se observó que a lo largo de la transmisión existieron paquetes perdidos y de acuerdo a la gráfica; el valor promedio máximo de pérdida es de 39 paquetes aproximadamente en el lapso de tiempo de 2 segundos.

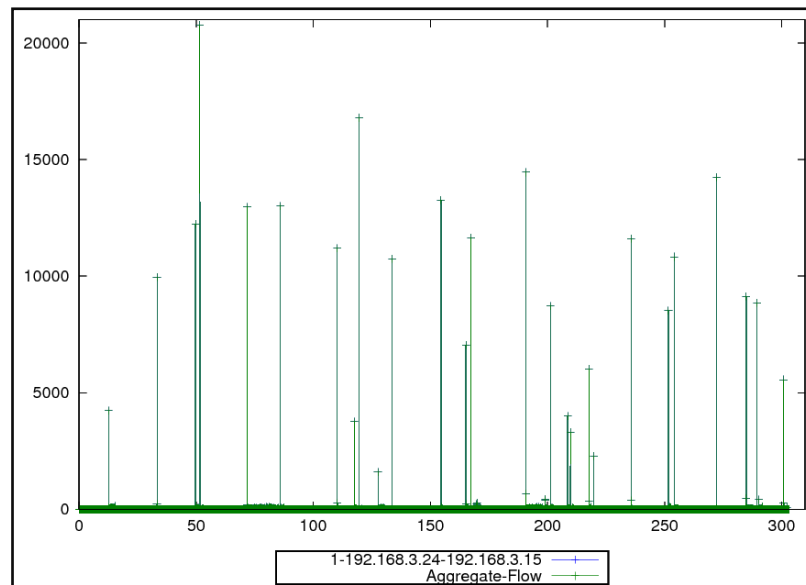


Figura 5. 24 Paquetes Perdidos en D-ITG

Al utilizar el protocolo UDP, que forma parte del estándar TCP/IP que está definido en RFC 768 [2], no se garantizó pérdidas de paquetes o retardos ya que UDP es un protocolo no orientado a conexión y su propósito no recae en eliminar paquetes perdidos para detectar la congestión de la red. En las redes inalámbricas, sin embargo, los paquetes también se eliminan debido a errores. UDP no distingue entre estos errores poco frecuentes y los paquetes que producen la verdadera congestión. Según la condiciones del canal este puede dar lugar a una importante caída de rendimiento de la red.

En la Figura 5. 26 se muestra la cantidad de paquetes perdidos en el periodo de tiempo de 128 a 130 segundos el cual es el más óptimo para poder realizar el análisis de los resultados, en la figura se observa el promedio mínimo de paquetes perdidos de 0,15, siendo constante durante el transcurso de 2 segundos. En tiempos posteriores se determinó que la pérdida de paquetes fue de aproximadamente 20 paquetes durante 18 segundos a lo largo de la transmisión. De acuerdo a la Tabla 5.4 la cantidad de bytes perdidos fue de 276480 *bytes* obteniendo un valor de paquetes de 540 para un tamaño de cada paquete de 512 *bytes*, lo que se puede concluir que existió un porcentaje de pérdida de 54% de paquetes enviados.

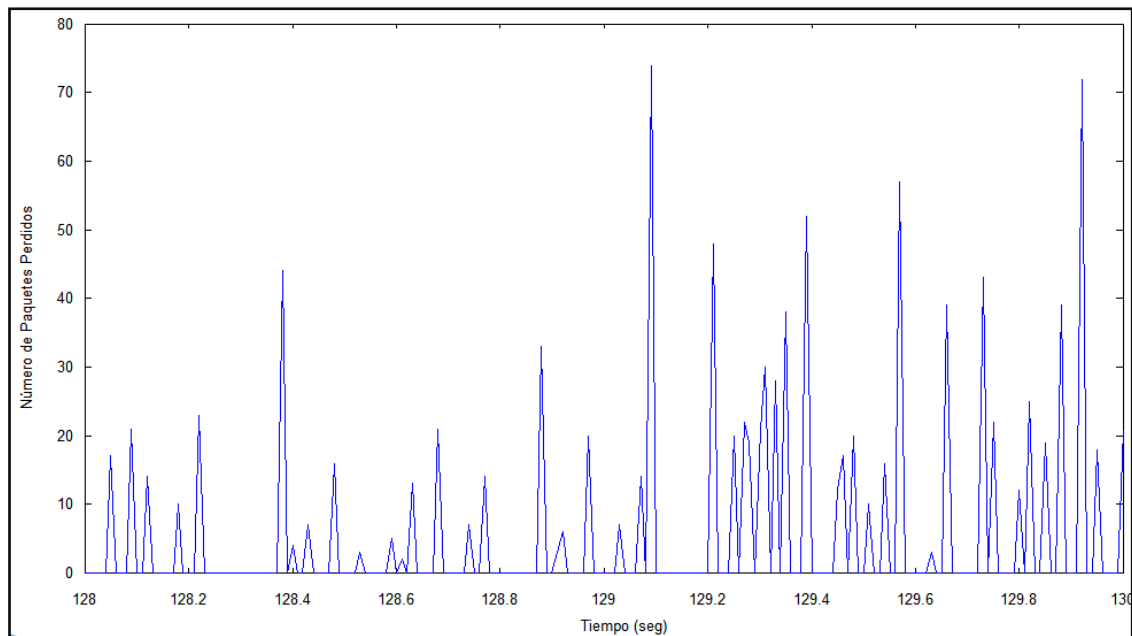


Figura 5. 25 Paquetes Perdidos GNUplot

5.4.4 *Throughput*

El *throughput* o rendimiento de una red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto período de tiempo. El *throughput* es un término comúnmente utilizado en ámbitos de telecomunicaciones aunque recibe múltiples definiciones según el entorno o aplicación. Típicamente se define como medida de la tasa de transferencia de datos a través de un sistema de comunicaciones. Por lo tanto, las unidades del *throughput* son bits por segundo o bytes por segundo.

En el análisis del *throughput* de la red *WiFi*, se debe tomar en cuenta que el canal se encuentra compartiendo entre diversos usuarios, debido a que es uno de los parámetros más relevantes en la medida de la eficiencia de la red. En el entorno de la red *WiFi*, el *throughput* dependerá de la relación entre los intervalos destinados a la transmisión de datos (*slot* de datos) y los destinados a tráfico de control (principalmente, períodos de contención y paquete de *downlink*). Por lo tanto, cuanto mayor sean los paquetes transmitidos en el *slot* de datos y menor sean los intervalos destinados a tráfico de control, mayor será el *throughput*.

Se realizaron medidas del *throughput* en función del tiempo de trama, mediante el cual se realizó un flujo de datos con 512 bytes. La inyección de tráfico se realizó mediante la herramienta DITG con tráfico UDP. Para cada tiempo de trama se midió simultáneamente el *throughput* con 1000 paquetes por segundo.

Mediante la Figura 5.27, se puede observar el desempeño de la red mediante la tasa de transmisión de datos (11 Mbps) y el deterioro que se experimenta para cada una de las tasas de transmisión de datos. Es importante notar que en las redes inalámbricas IEEE 802.11, la presencia de interferencias severas producen considerablemente la baja de las tasas de transmisión de datos hasta obtener resultados satisfactorios en el canal físico. El resultado de esa acción es que se disminuye considerablemente la capacidad de la red inalámbrica.

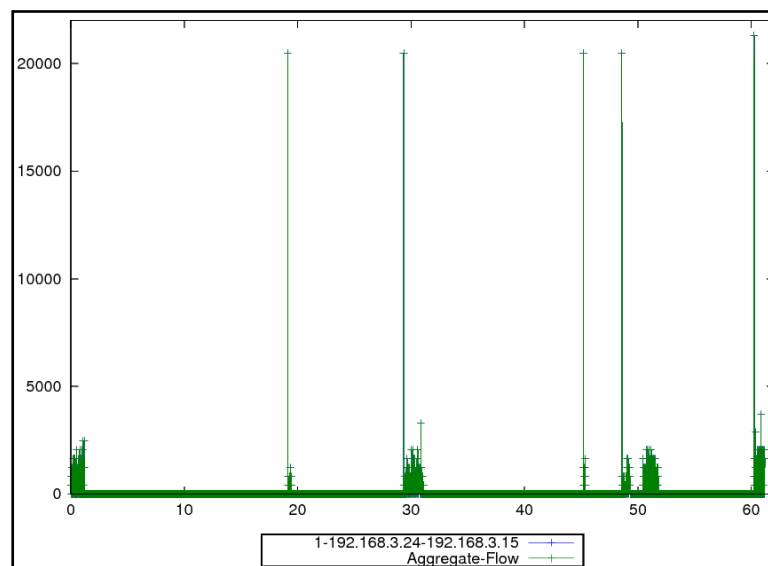


Figura 5. 26Throughput de la Red WiLD

Mediante la exportación del archivo *bitrate.dat*, se puede obtener en un rango de 29,3 a 31 segundos los datos con una mejor visualización para así poder realizar un análisis más exhaustivo del *throughput*; el resultado obtenido en la transmisión de datos disminuye considerablemente la capacidad de la red inalámbrica, como se muestra en la Figura 5.28. Además, a medida que aumenta el tamaño del paquete, aumenta el *throughput*, teniendo así un valor promedio en el transcurso de la inyección de tráfico de 4088,0956 Kbit/s, como muestra la Tabla 5.4.

Se debe tener presente que en un lapso de 5 segundos aproximadamente la señal recibida se mantiene constante, teniendo una fluctuación de cada 10 segundos en la transmisión de datos, por la variación que posee el retardo al momento de la inyección de tráfico, obteniendo así un mínimo valor de *throughput* de 450 Kbit/s.

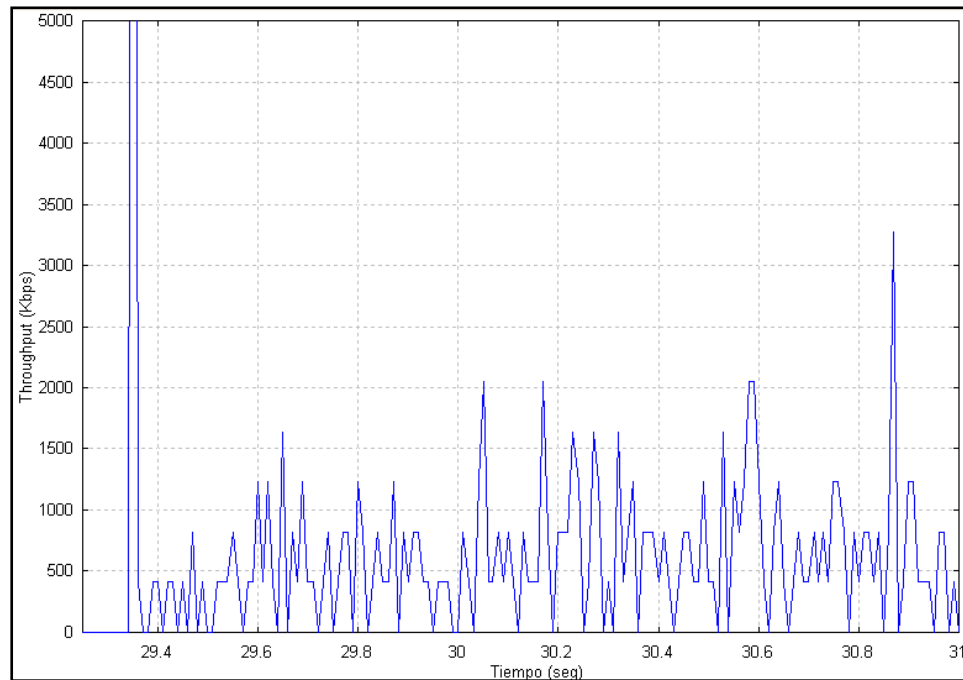


Figura 5. 27Throughput en GNUPlot

Si se hace una comparación con el valor de la simulación de la red en *ns-2* realizada en el capítulo 4, se puede analizar; que para el resultado de la simulación que fue de 30,563 Mbps, utilizando el estándar 802.11 b/g, y el valor tomado por medio de la inyección de tráfico por el software D-ITG, de 4,088 Mbps, se obtuvo un valor normalizado para cada uno del 0,56 y 0,37 respectivamente. Entre estos valores; el simulado y el real, se obtuvo un error absoluto del 34%, lo que significa que la simulación entrega un valor poco preciso; es por eso que se recomienda un estudio más cuidadoso del software de simulación de redes inalámbricas a larga distancia.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se estudió los elementos de la capa MAC del estándar IEEE 802.11 necesarios para el enlace a larga distancia, además, se analizaron los parámetros de los tiempos de propagación de la capa MAC, como el *acktimeout*, *cleartosend*, *yslottime*; mediante los cambios realizados de los mismos se logró tener un enlace con una distancia mayor a la propuesta por el estándar.

Se analizaron los equipos inalámbricos disponibles en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la ESPE. Con el estudio se conoció el funcionamiento de la Tarjeta Inalámbrica *Alix*, sus componentes y se configuró los parámetros para el enlace *WiFi* a larga distancia. Además se efectuaron pruebas con los radios *Ubiquiti Networks*, que fueron de ayuda para la alineación de las antenas, debido a que estos cuentan con una interfaz gráfica más amigable para el usuario.

Se determinó los puntos de implementación de la red, la misma que tuvo lugar en el Cerro Pilisurco, Fuerzas Especiales y ESPE Latacunga; para el análisis del sitio de implementación se tomó en cuenta la factibilidad de acceso al lugar, la línea de vista entre los tres nodos antes mencionados, el suministro de energía y la facilidad de comunicación entre los puntos de implementación.

Para realizar la planeación de la red *WiFi*, se tomó en cuenta cómo trabajó cada uno de los nodos, es decir qué equipos se utilizaron como nodo repetidor y cuales como nodos Maestro y Esclavo. En este proyecto de tesis, para la conexión entre los puntos de ESPE

Sede Latacunga y las Fuerzas Especiales; se instaló una Tarjeta *Alix* que trabajó como Repetidora en el Cerro Pilisurco; una tarjeta inalámbrica se utilizó para la conexión entre el punto Maestro instalado en las Fuerzas Especiales, y el otro nodo que cumplió funciones de Esclavo en la ESPE Latacunga, logrando alcanzar un enlace de 59,3 km.

Se identificó que el software más adecuado para la simulación del desempeño de la red es *network simulator(ns-2)*, debido a que éste permitió realizar cambios de los elementos de la Capa MAC como son; el *acktimeout*, *cleartosend* y el *slottime*, previamente se modificaron las librerías de la herramienta, que fueron parámetros indispensables para el alcance a larga distancia de los nodos. La simulación del estándar 802.11b/g dio como resultado un desempeño de la red de 30Mbps a 35km, lo que significó que a esta distancia el rendimiento decayó a un valor normalizado de 0,56 con respecto a la velocidad teórica.

Se realizó una visita en sitio del lugar de los puntos de implementación, en donde se observaron los factores que intervinieron en la conexión de los nodos y se tomó las debidas precauciones para evitar cualquier tipo de interferencia o daños en la red, de esta manera se logró determinar que el desempeño de la red fue exitoso luego de realizar pruebas de conexión.

En la red implementada *WiFi* a larga distancia, se realizaron pruebas de conectividad con las Tarjetas *Alix*, una vez confirmada la conectividad en el enlace se procedió a tomar datos, los mismos sirvieron para analizar el desempeño de la red. Finalizadas estas pruebas se midió el rendimiento de la red *WiLD* por medio de parámetros que comprende la Calidad de Servicio como son el *delay*, *jitter*, paquetes perdidos y *throughput*. Al analizar los resultados se pudo observar que el desempeño de la red fue aceptable puestuvo una tasa de transmisión máxima de 4,088 Mbps lo que representó que se obtuvo una eficiencia superior del 37,09% de la tasa definida por el estándar 802.11b de 11 Mbps y un promedio de retardo de 8,80 segundos; esto se debió principalmente a las interferencias que existe en la banda de frecuencia sin licencia de 2,4 GHz.

6.2 Recomendaciones

Es importante conocer el rendimiento que puede tener la red *WiFi* en una zona rural de la región Costa u Oriente del país, para así poder tener una comparación entre las redes implantadas en cada región y analizar en que zona se obtiene el mejor desempeño de una red *WiFi* de las Regiones del País.

El manejo y estudio del software para el análisis del desempeño de la red *WiFi* a larga distancia, permite tener una mejor visualización de las modificaciones necesarias para simular un escenario de un enlace de larga distancia, por lo tanto se debería tener un análisis más exhaustivo de software actual como es; NCTuns y *ns-3*, para comparar cuál es el software más preciso y con menos error, con respecto a los resultados del desempeño de la red a larga distancia obtenidos por medio del mismo.

A pesar de que la red diseñada trabaja en la banda de los 2,4 GHz, y que en el estudio de campo se comprobó que existe interferencias en las redes que trabajan en este mismo espectro de frecuencias dentro de las áreas seleccionadas, sería recomendable la utilización de otra de frecuencia de operación libre como la de 5 GHz; pues en esta banda se tiene la posibilidad de tener mayores velocidades de transmisión y por ende un mejor beneficio en la red implementada.

Tener en cuenta la utilización de una herramienta de inyección de tráfico para comprobar la calidad del rendimiento de la red, así también para obtener resultados con una mejor visualización para poder realizar los análisis pertinentes de estudio de la red.

Se recomienda establecer algún software de administración de red, ya que dicho análisis escapa del alcance de esta tesis, con la finalidad de tener un control más riguroso de la red, preferiblemente este software debería estar desarrollado en el sistema operativo Linux para eliminar los costos que se tendrían que pagar por concepto de licencias.

Después de haber establecido los límites y dificultades que pueden existir en la implementación de *WiFi* a larga distancia con respecto a beneficios, resultaría de gran interés un estudio sobre posibles alternativas que, empleando el estándar 802.11 como soporte y tecnología, pueda resolver las necesidades y problemas de calidad de servicio y de altas prestaciones; lo que significa que se debería realizar una comparación total sobre la investigación de la posibilidad de desarrollar funcionalidades previstas por *WiMax* sobre *WiFi*.

SIGLAS

- **ADV** Protocolo de Enrutamiento Vector Distancia Adaptativo
- **AODV** Protocolo de Enrutamiento Vector Distancia Bajo Demanda AdHoc
- **ARP** Protocolo de Resolución de Direcciones
- **DS_TC** Medición de Tráfico DiffServ QoS , acondicionamiento y formación
- **DSDV** Protocolo de Enrutamiento Vector Distancia Secuencia de Destino
- **DSR** Protocolo de Enrutamiento Fuente Dinámica
- **DSRV** Protocolo de Enrutamiento Vector Distancia de Origen Dinámico
- **FNGRP** Protocolo de Enrutamiento de Redes Fijas
- **FTP** Protocolo de Transferencia de Archivo
- **HDLC** Alto nivel de control de Enlace de Datos
- **HTTP** Protocolo de Transferencia de Hipertexto
- **ICMP** Protocolo de Mensaje de Control de Internet
- **IP** Protocolo de Internet
- **LDP** Protocolo de Etiqueta de Distribución
- **MESHOSPF** (Protocolo de Enrutamiento de una red de malla inalámbrica IEEE 802.11b)
- **MESH RIP** (Protocolo *Spanning Tree* de redes Mesh inalámbricas IEEE 802.11b)
- **MIP** (IP Móvil)
- **MNGRP** Protocolo de Enrutamiento de Redes Móviles
- **MPLS** Multiprotocolo de Etiquetas Switching.
- **MULTI-INTERFACE** Protocolo de Nodo Móvil Múltiple-Interfaz
- **OBS** (Protocolo de Conmutación de Ráfagas Ópticas)
- **OLSR** Protocolo Optimizado de los estados de vínculos de enrutamiento.
- **OSPF** Protocolo de Enrutamiento “Abrir Primero el Camino más Corto”
- **RAP** Rica Plataforma de Aplicaciones
- **RED** Gestión del Buffer de Detección Temprana Randómica

- **RIP** Protocolo de Enrutamiento de Información
- **RTP, RTCP** Protocolo de Transporte de Tiempo Real, Protocolo de Control de Tiempo Real
- **SCTP** Protocolo de Control de Transmisión de Flujo
- **SDP** Protocolo de Descripción de Sesión
- **TCP** Protocolo de Control de Transmisión
- **TFRC** Control de Velocidad TCP
- **TORA** Base de datos de Oracle.
- **UDP** Protocolo de Datagrama de Usuario
- **XCP** Protocolo de Control Explícita
- **WFQ** Ponderado de Cola Justo

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.apc.org/es/news/ecuador-llegar-donde-los-cables-y-los-intereses-co>
- [2] http://www.altera.com/literature/fs/fs14_dsss.pdf
- [3] <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3784>
- [4] <http://www.laserwifi.com/estander802.11.htm>
- [5] <http://www.ieee802.org/11/Tutorial/FH.pdf>
- [6] http://www-personal.umich.edu/~csev/hng/book/08wireless/08wireless.htm&usg=__OxMKwCJH4hor
-
[Vogc0XO5v99X9U=&h=150&w=255&sz=3&hl=es&start=3&itbs=1&tbnid=3YIdfKSW-gqfYM:&tbnh=65&tbnw=111&prev=/images%3Fq%3DFHSS%26hl%3Des%26gbv%3D2%26tbs%3Disch:1](http://www-personal.umich.edu/~csev/hng/book/08wireless/08wireless.htm&usg=__OxMKwCJH4hor)
- [7] <http://www.info-ab.uclm.es/asignaturas/42638/pdf/cap7.pdf>
- [8] http://dns.bdat.net/seguridad_en_redes_inalambricas/c113.html
- [9] http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/standard_802_11.pdf
- [10] <http://www.scribd.com/doc/13842125/ESTANDAR-IEEE-80211>
- [11] <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/912/6/T10435CAP2.pdf>
- [12] <http://www.todo-linux.com/manual.todo-linux.com/redes/Manual%20redes%20inalambricas.pdf>
- [13] <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/798/34/T10145ANEXO1.C.pdf>
- [14] <http://www.scribd.com/doc/17008658/80211-Presentacion-Pedro-Benitez>
- [15] <http://ipref.wordpress.com/2008/09/21/la-capa-de-enlace-de-datos/>>
- [16] <http://es.wikitel.info/wiki/WiFi>
- [17] <http://www.laserwifi.com/estander802b.11.htm>
- [18] <http://www.euroresidentes.com/Blogs/internet/2008/03/wi-fi-de-larga-distancia.html>
- [19] www.pcengines.ch/alix3d3.htm

- [20] <http://www.razametal.org/asterisk/library/PBX%20Asterisk%20embebida.pdf>
- [21] <http://sysadmin.org.mx/contenidos/instalacion-de-nanobsd-en-hardware-embebido.html>
- [22] <http://wirelessu.org/uploads/units/2008/11/19/134/Tecnologia%20Redes%20comunitarias.pdf>
- [23] <http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/support/documentation/GUIManual.pdf>
- [24] <http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/system/files/1041.pdf>
- [25] <http://wifiw.com/2010/03/enlaces-punto-a-punto-de-larga-distancia/>
- [26] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/capitulo1.pdf
- [27] <http://multingles.net/docs/Manual%20-%20Redes%20WiFi%20inalambricas.pdf>
- [28] <http://cachanilla.itmexicali.edu.mx/~adiaz/Publicaciones/Estandar80211.pdf>
- [29] Díaz U. J. “Wi-Fi La Tendencia en las Redes de Área Local”, CINTEL-RCT On line URL: <http://www.cintel.org.co>
- [30] http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/trabajos_de_grado/anteproyectos/anteproyecto_TG-0367.pdf
- [31] <http://www.euroresidentes.com/Blogs/internet/2008/03/wi-fi-de-larga-distancia.html>,
- [32] <https://help.ubuntu.com/6.10/ubuntu/serverguide/es/NTP.html>
- [33] [http://technet.microsoft.com/es-es/library/cc785220\(WS.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/es-es/library/cc785220(WS.10).aspx) , 8 de Febrero del 2010
- [34] http://190.5.195.133/frida/GNTT/WiFi_DescripcionDeModificacionesParaLarga_Distancia.pdf,
- [35] <http://www.apc.org/es/news/ecuador-llegar-donde-los-cables-y-los-intereses-co>
- [36] <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1120/2/T10981CAP3.pdf>
- [37] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3797/1/53876-1.pdf>
- [38] <https://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r54293.PPT>
- [39] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4554/1/memoria.pdf>

ANEXOS

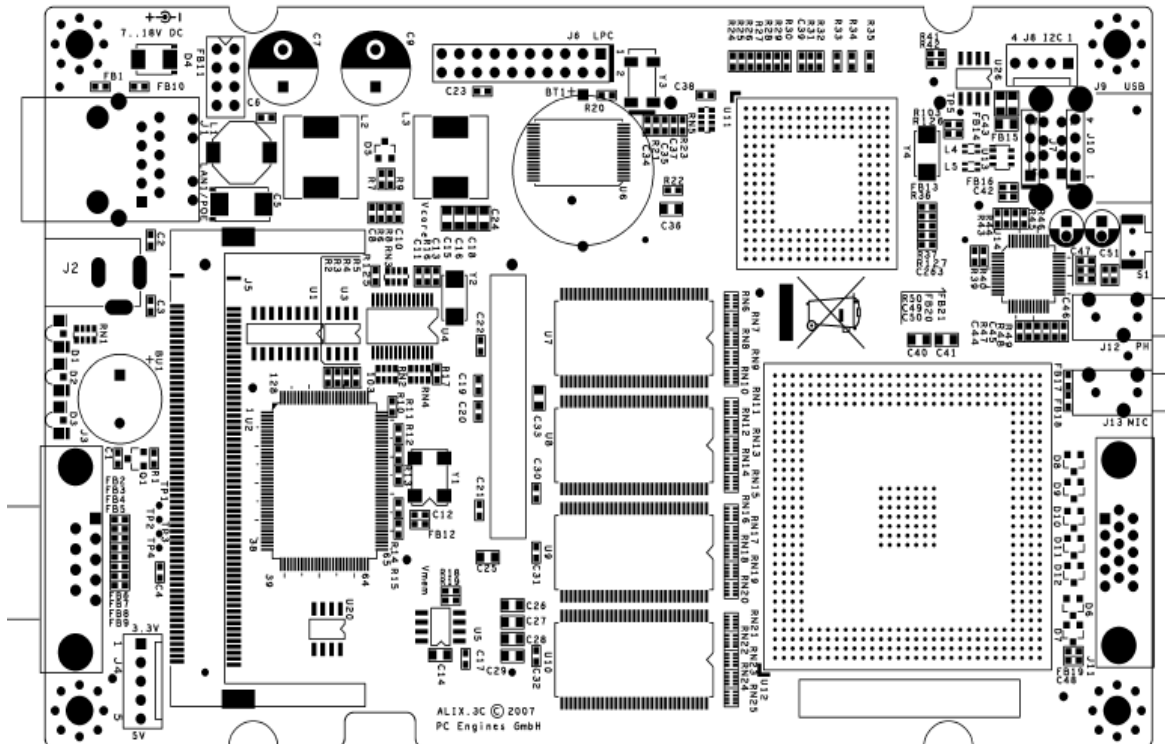
ANEXO 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TARJETAS ALIX

ALIX.3d3 features

PC Engines ALIX boards are small form factor system boards optimized for wireless routing and network security applications.

- AMD Geode LX CPU, 500 MHz (LX800) 5x86 CPU
- 256 KB cache (64K data + 64K instruction + 128K L2)
- 1 Ethernet channel (VIA VT6105M, 10 / 100 Mbit/s)
- 2 miniPCI sockets for 802.11 wireless cards and other expansion
- 256 MB DDR SDRAM, 64 bit wide for high memory bandwidth
- 512 KB flash with Award BIOS
- CompactFlash socket for user's operating system and application
- 7 to 20V (absolute maximum, recommend 18V) DC supply through DC jack or passive power over Ethernet. Suggest a 18V / 15W supply. Center pin = positive, sleeve = ground, 2.1 mm diameter.
- 1 serial port (DB9 male)
- 2 USB 2.0 ports
- Header for LPC bus (use for flash recovery or I/O expansion)
- Temperature range 0 to 50°C
- Dimensions 100 x 160 mm



Partes de Tarjeta Alix

ANEXO 2

INSTALACIÓN DE NS-2

1.- Pasos Previos

Comprueba que tus repositorios te permitan descargar las librerías que se requieren, además de contar con una adecuada conexión de Internet.

Aplica lo siguiente:

```
$ sudo aptitude update (con ello simplemente actualizas tu sistema)
```

```
$ sudo aptitude install build-essential autoconf automake libx11-dev libxmu-dev gcc-4.3
```

```
$ export CC=gcc-4.3
```

A este punto tienes todas las librerías necesarias para realizar la instalación del ns2 en su última versión 2.34.

2.- Descomprimir el archivo

Descomprime la versión del ns2 en la carpeta de tu usuario (ej. /home/pepe/) con el siguiente mandato:

```
$tar -xzvf ns-allinone-2.34.tar.gz
```

El archivo se descomprime se debe ingresar a la carpeta ns-allinone-2.34 con el mandato:

```
$cd ns-allinone-2.34
```

3.- Instalación

Ejecuta el siguiente mandato para la instalación:

```
$/install
```

Después que termine la instalación debe presentar un mensaje como se muestra a continuación:

```

Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda
make11: se sale del directorio '/root/ns-allinone-2.34/dei80211nr-1.1.4'
Ns-allinone package has been installed successfully.
Here are the installation places:
tcl8.4.18:      /root/ns-allinone-2.34/{bin,include,lib}
tk8.4.18:      /root/ns-allinone-2.34/{bin,include,lib}
otcl:          /root/ns-allinone-2.34/otcl-1.13
tclcl:         /root/ns-allinone-2.34/tclcl-1.19
ns:            /root/ns-allinone-2.34/ns-2.34/ns
nam:           /root/ns-allinone-2.34/nam-1.14/nam
xgraph:        /root/ns-allinone-2.34/xgraph-12.1
gt-itm:        /root/ns-allinone-2.34/itm, edriver, sgb2alt, sgb2ns, sgb2comms, sgb2h
ierns
-----
..
Please put /root/ns-allinone-2.34/bin:/root/ns-allinone-2.34/tcl8.4.18/unix:/roo
t/ns-allinone-2.34/tk8.4.18/unix
into your PATH environment; so that you'll be able to run itm/tclsh/wish/xgraph.

IMPORTANT NOTICES:
(1) You MUST put /root/ns-allinone-2.34/otcl-1.13, /root/ns-allinone-2.34/lib,

```

Instalación

También se presentará información que se muestra en la siguiente figura, que servirá para ayuda de configuración de las variables de entorno.

```

Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda
tcl8.4.18:      /root/ns-allinone-2.34/{bin,include,lib}
tk8.4.18:      /root/ns-allinone-2.34/{bin,include,lib}
otcl:          /root/ns-allinone-2.34/otcl-1.13
tclcl:         /root/ns-allinone-2.34/tclcl-1.19
ns:            /root/ns-allinone-2.34/ns-2.34/ns
nam:           /root/ns-allinone-2.34/nam-1.14/nam
xgraph:        /root/ns-allinone-2.34/xgraph-12.1
gt-itm:        /root/ns-allinone-2.34/itm, edriver, sgb2alt, sgb2ns, sgb2h
ierns
-----
..
Please put /root/ns-allinone-2.34/bin:/root/ns-allinone-2.34/tcl8.4.18/unix:/roo
t/ns-allinone-2.34/tk8.4.18/unix
into your PATH environment; so that you'll be able to run itm/tclsh/wish/xgraph.

IMPORTANT NOTICES:
(1) You MUST put /root/ns-allinone-2.34/otcl-1.13, /root/ns-allinone-2.34/lib,
    into your LD_LIBRARY_PATH environment variable.
    If it complains about X libraries, add path to your X libraries
    into LD_LIBRARY_PATH.
    If you are using csh, you can set it like:
        setenv LD_LIBRARY_PATH <paths>
    If you are using sh, you can set it like:
        export LD_LIBRARY_PATH=<paths>

(2) You MUST put /root/ns-allinone-2.34/tcl8.4.18/library into your TCL_LIBRARY
environmental
variable. Otherwise ns/nam will complain during startup.

After these steps, you can now run the ns validation suite with
cd ns-2.34; ./validate

For trouble shooting, please first read ns problems page
http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-problems.html. Also search the ns mailing list ar
chive
for related posts.

root@ubuntu:~/ns-allinone-2.34# █

```

Instalación 2

4.- Configuración de las variables de entorno

Ingresa al archivo `.bashrc` empleando un editor de texto como vim o gedit:

```
$sudo gedit ~/.bashrc
```

Al final del archivo debes añadir las siguientes líneas el path `/home/pepito` por el nombre de tu usuario:

```
# LD_LIBRARY_PATH
OTCL_LIB=/home/pepito/ns-allinone-2.34/otcl-1.13
NS2_LIB=/home/pepito/ns-allinone-2.34/lib
X11_LIB=/usr/X11R6/lib
USR_LOCAL_LIB=/usr/local/lib
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$X11_LIB:$USR_LOCAL_LIB
# TCL_LIBRARY
TCL_LIB=/home/pepito/ns-allinone-2.34/tcl8.4.18/library
USR_LIB=/usr/lib
export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB
# PATH
XGRAPH=/home/pepito/ns-allinone-2.34/bin:/home/pepito/ns-allinone-2.34/tcl8.4.18/unix:/home/pepito/ns-allinone-2.34/tk8.4.18/unix
NS=/home/pepito/ns-allinone-2.34/ns-2.34/
NAM=/home/pepito/ns-allinone-2.34/nam-1.14/
PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
```

Recargar el archivo `.bashrc` con el siguiente mandato:

```
$ source ~/.bashrc
```

Ejecuta el siguiente mandato:

```
$ ns
```

Si puedes observar % la instalación esta correcta para salir se escribe exit.

5.- Validación

Ingresa al directorio `ns-allinone-2.34`:

```
$ cd ~/ns-allinone-2.34/ns-2.34
```

```
$ ./valídate
```

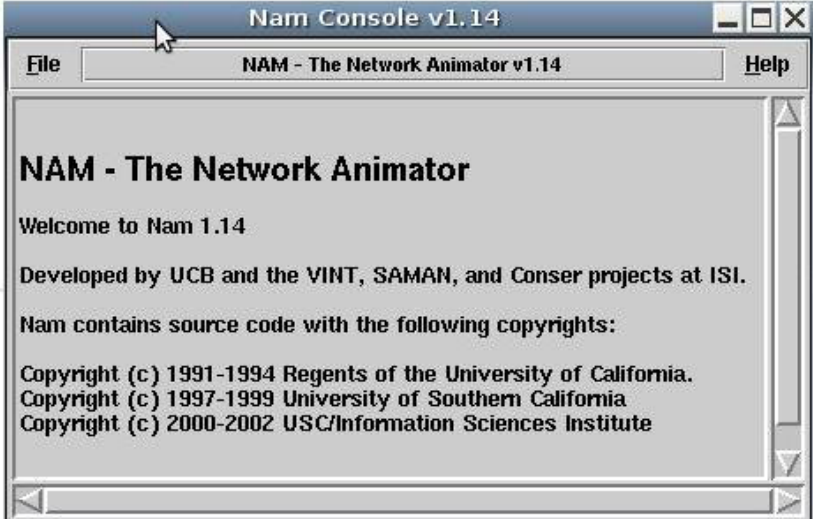
Este proceso dura algunas horas

6.- Verificación de la instalación

Si se ejecutaron los mandatos adecuadamente y se siguieron los pasos sin presentarse errores, la instalación esta correcta, para verificar ejecutamos el siguiente mandato:

\$ nam

```
Archivo  Editor  Ver  Terminal  Ayuda
root@ubuntu:~# cd ns-allinone-2.34
root@ubuntu:~/ns-allinone-2.34# gedit ~/.bashrc
root@ubuntu:~/ns-allinone-2.34#
root@ubuntu:~/ns-allinone-2.34# cd
root@ubuntu:~# ns
% exit
root@ubuntu:~# cd ns-allinone-2.34
root@ubuntu:~/ns-allinone-2.34# cd ns-2.34
root@ubuntu:~/ns-allinone-2.34/ns-2.34# tclsh
% info patchlevel
8.4.19
% exit
root@ubuntu:~/ns-allinone-2.34/ns-2.34# nam
```



The screenshot shows a window titled "Nam Console v1.14" with a menu bar containing "File", "NAM - The Network Animator v1.14", and "Help". The main content area displays the following text:

```
NAM - The Network Animator

Welcome to Nam 1.14

Developed by UCB and the VINT, SAMAN, and Conser projects at ISI.

Nam contains source code with the following copyrights:

Copyright (c) 1991-1994 Regents of the University of California.
Copyright (c) 1997-1999 University of Southern California
Copyright (c) 2000-2002 USC/Information Sciences Institute
```

Ejecución del programa

ANEXO 3

CÓDIGO EN NS-2

```
#SIMULACION DE DOS NODOS WIFI 802.11b/g
```

```
#Evelin Barronuevo / Viviana Tamayo
```

```
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;#Channel Type
set val(prop) Propagation/Shadowing ;# radio-propagation model
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;# network interface type
set val(mac) Mac/802_11 ;# MAC type
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# interface queue type
set val(ll) LL ;# link layer type
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# antenna model
set val(ifqlen) 50 ;# max packet in ifq
set val(nn) 2 ;# number of mobilenodes,
#you can change 2 or 3, of course yours nodes
set val(cbr rate) 64000 ;#each node traffic rate
set val(SimTime) 175 ;#Simulation Time
# routing protocol
set val(rp) AODV
#size window
set val(x) 2050
set val(y) 2050

#=====
# PARAMETROS DE LAS ANTENAS
#=====

Phy/WirelessPhy set freq_ 2.4e+9 ;#Frecuencia de trabajo
Phy/WirelessPhy set L_ 1.0 ;#Pérdidas
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 24.0 ;#Ganancia de transmisión
```

```

Antenna/OmniAntenna set Gr_ 24.0 ;#Ganancia de recepción
Antenna/OmniAntenna set ht_ 1 ;#Altura de la antena de transmisión
Antenna/OmniAntenna set hr_ 1 ;#Altura de la antena de recepción

```

```
$val(netif) set Pt_ 1
```

```
#=====
```

```
# PARAMETROS CAPA FISICA
```

```
#=====
```

```
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 1.0e-13 ;#Para -90
```

```
Phy/WirelessPhy set CSThresh_ 1.0e-13 ;#Para -90
```

```
Phy/WirelessPhy set CPThresh_ 10.0
```

```
Phy/WirelessPhy set bandwidth_ 11Mb
```

```
Phy/WirelessPhy set Rb_ 11*1e6
```

```
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.199526
```

```
Mac/802_11 set CWMin_ 31
```

```
Mac/802_11 set CWMax_ 1023
```

```
Mac/802_11 set SlotTime_ 0.000109
```

```
Mac/802_11 set SIFS_ 0.000010
```

```
Mac/802_11 set PreambleLength_ 144
```

```
Mac/802_11 set ShortPreambleLength_ 72
```

```
Mac/802_11 set PreambleDataRate_ 2.0e+6
```

```
Mac/802_11 set PLCPHeaderLength_ 48
```

```
Mac/802_11 set PLCPDataRate_ 1.0e6
```

```
Mac/802_11 set ShortPLCPDataRate_ 2.0e6
```

```
Mac/802_11 set RTSThreshold_ 3000
```

```
Mac/802_11 set ShortRetryLimit_ 7
```

```
Mac/802_11 set LongRetryLimit_ 4
```

```
Mac/802_11 set dataRate_ 11Mb
```

```
Mac/802_11 set basicRate 11Mb
```

```
# Initialize Global Variables
set ns_      [new Simulator]
set tracefd  [open tesis_e.tr w]
$ns_ trace-all $tracefd
set namtrace [open tesis_e.nam w]
$ns_ namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
# set up topography object
set topo     [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
# Create Go

create-god $val(nn)
# Create channel
#set chan_ [new $val(chan)]

# Create channel
set chan0 [new $val(chan)]

Propagation/Shadowing set pathlossExp_ 2.7
Propagation/Shadowing set std_db_ 4.0
Propagation/Shadowing set dist0_ 30000
Propagation/Shadowing set seed_ 0

# configure node
$ns_ node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
```



```

        -routerTrace OFF \
        -macTrace ON \
        -movementTrace OFF \
        -channel [new $val(chan)]\

for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
set node_($i) [$ns_ node]
    $node_($i) random-motion 0
}

# Provide initial (X,Y, for now Z=0) co-ordinates for nodes
#
$node_(0) set X_ 100.0
$node_(0) set Y_ 100.0
$node_(0) set Z_ 0.0
$node_(1) set X_ 100.0
$node_(1) set Y_ 1100.0
$node_(1) set Z_ 0.0

for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ initial_node_pos $node_($i) 20
}
#=====

set udp [new Agent/UDP]
$udp set prio_ 0
$udp set packetSize_ 1500
set null [new Agent/Null]
$ns_ attach-agent $node_(0) $udp
$ns_ attach-agent $node_(1) $null
$ns_ connect $udp $null

set cbr [new Application/Traffic/CBR]
$nbr set rate_ $val(cbrate)
$nbr attach-agent $udp
$ns_ at 0.00 "$nbr start"

```

```
#=====
```

```
## Tell nodes when the simulation ends
```

```
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
```

```
    $ns_ at $val(SimTime) "$node_($i) reset";
```

```
}
```

```
$ns_ at $val(SimTime) "stop"
```

```
$ns_ at [expr $val(SimTime)+0.02] "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_
```

```
halt"
```

```
proc stop {} {
```

```
    global ns_ tracefd
```

```
        $ns_ flush-trace
```

```
    close $tracefd
```

```
    # exec nam 3.nam &
```

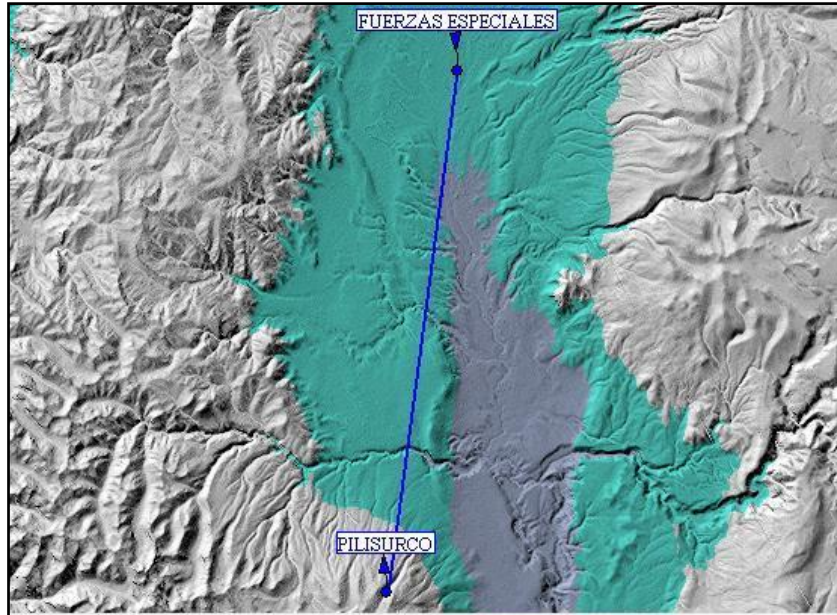
```
}
```

```
puts "Starting Simulation..."
```

```
$ns_ run
```

ANEXO 4

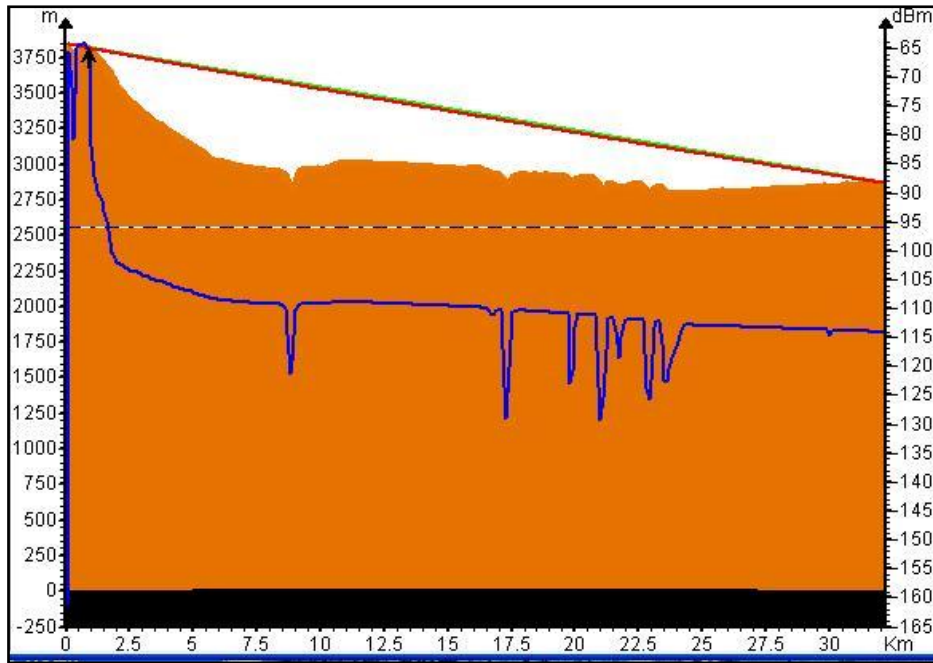
PILISURCO – FUERZAS ESPECIALES



Enlace Pilisurco – Fuerzas Especiales

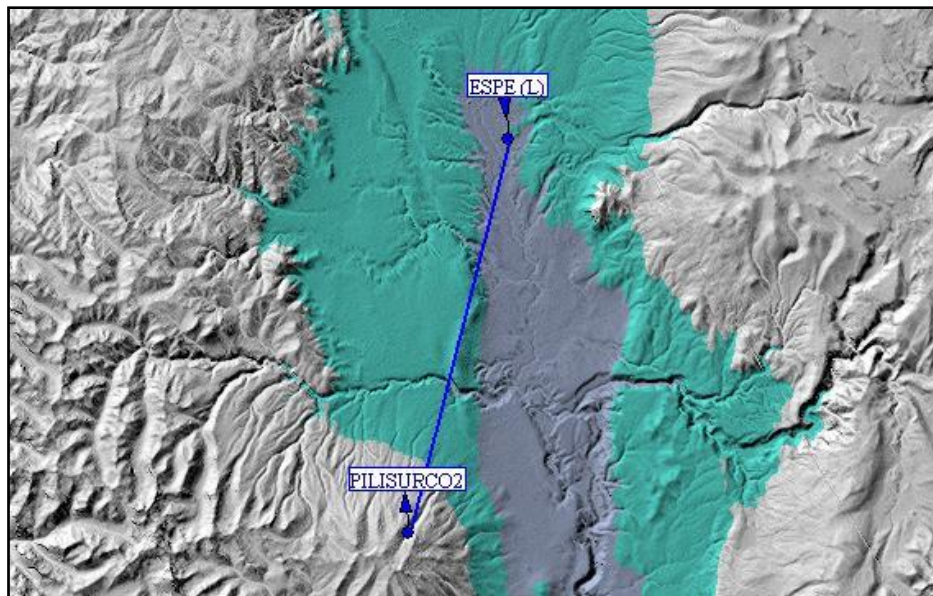
<ul style="list-style-type: none"> — Nivel de señal — Perfil topográfico — Curva de la tierra — Rayo directo — Elipsoide — Umbral ↑ Menor despejamiento — Rayos reflejados 	<p>▼ Perfil</p> <p>Mét. Est. : Rec. 1546 UI</p> <p>Factor K : 1.33333</p> <p>Puntos : 323</p> <p>Longitud : 32.109 Km</p> <p>Acimut : 7.645 °</p> <p>Poten. recib. : -113.99 dBm</p> <p>PRA en perfil : 80.187 W</p> <p>Altura efect. tx : 831.799 m</p> <p>Rugosidad : --</p> <p>Ángulo despej. : 1.743 °</p> <p>Fecha : 17/01/2010 (1</p>
<p>▼ Transmisor</p> <p>Nombre : PILISURCO</p> <p>Coordenadas : Lon: 78 39 44.0</p> <p style="padding-left: 20px;">Lat: 1 08 09.00</p> <p>Cota : 3825 m</p> <p>Alt. antena : 10.0 m</p> <p>Polariz. : Horizontal</p> <p>Antena : Dir_18dBi_1920</p> <p>Frecuencia : 2442 MHz</p> <p>PRA : 91.865248 W</p> <p>Servicio : WIFI (802.11b/</p> <p>Velocidad : 16 Mbps</p> <p>Modulación : 16-QAM</p> <p>MTBF : 62500 h</p> <p>MTTR : 5 h</p>	<p>▼ Receptor</p> <p>Nombre : Receptor 2</p> <p>Coordenadas : Lon: 78 37 25.8</p> <p style="padding-left: 20px;">Lat: 0 50 53.40</p> <p>Cota : 2864 m</p> <p>Frecuencia : 2442 MHz</p> <p>Alt. antena : 5.0 m</p> <p>Polariz. : Horizontal</p> <p>Antena : Dir_18dBi_1920</p> <p>Servicio : WIFI (802.11b/</p> <p>Velocidad : 16 Mbps</p> <p>Modulación : 16-QAM</p> <p>MTBF : 62500 h</p> <p>MTTR : 5 h</p>

Datos de Simulación



Perfil Topográfico Pilisurco – Fuerzas Especiales

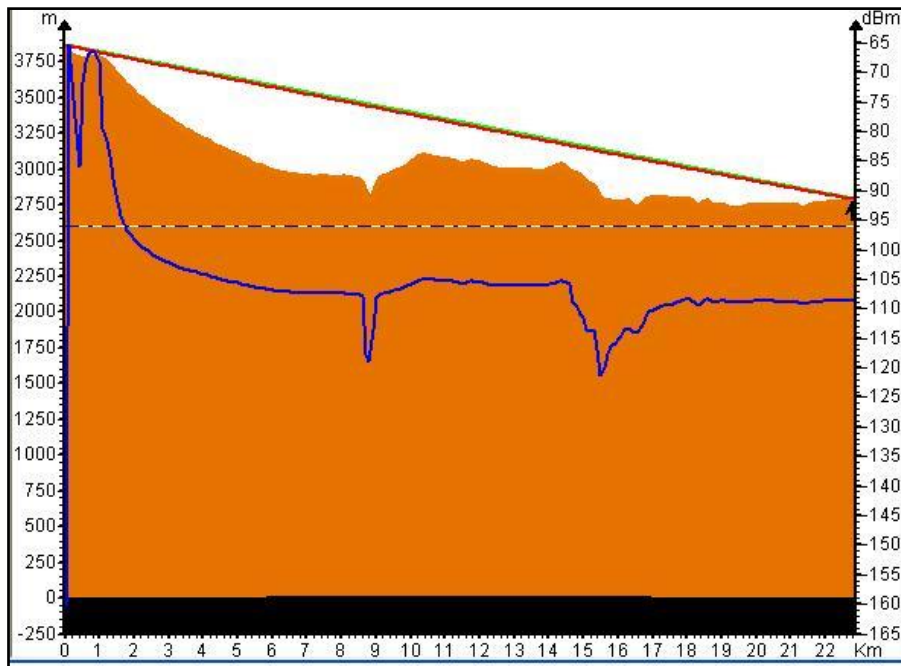
PILISURCO – ESPE LATACUNGA



Enlace Pilisurco – Espe Latacunga

▼ Gráfica		▼ Perfil	
	Nivel de señal	Mét. Est.	: Rec. 1546 UI
	Perfil topográfico	Factor K	: 1.33333
	Curva de la tierra	Puntos	: 230
	Rayo directo	Longitud	: 22.813 Km
	Elipsoide	Acimut	: 194.298 °
	Umbral	Poten. recib.	: -131.692 dBm
	Menor despejamiento	PRA en perfil	: 0.009 W
	Rayos reflejados	Altura efect. tx	: -109.512 m
		Rugosidad	: --
		Ángulo despej.	: -0.800 °
		Fecha	: 17/01/2010 (1)
▼ Transmisor		▼ Receptor	
Nombre	: LATACUNGA	Nombre	: PILISURCO
Coordenadas	: Lon: 78 36 41. Lat: 0 56 09.6	Coordenadas	: Lon: 78 39 44.0 Lat: 1 08 09.0
Cota	: 2770 m	Cota	: 3825 m
Alt. antena	: 20.0 m	Frecuencia	: 2442 MHz
Polariz.	: Horizontal	Alt. antena	: 30.0 m
Antena	: Dir_18dBi_192	Polariz.	: Horizontal
Frecuencia	: 2442 MHz	Antena	: Dir_18dBi_192
PRA	: 91.865248 W	Servicio	: WIFI (802.11b/
Servicio	: WIFI (802.11b/	Velocidad	: 16 Mbps
Velocidad	: 16 Mbps	Modulación	: 16-QAM
Modulación	: 16-QAM	MTBF	: 62500 h
MTBF	: 62500 h	MTRR	: 5 h

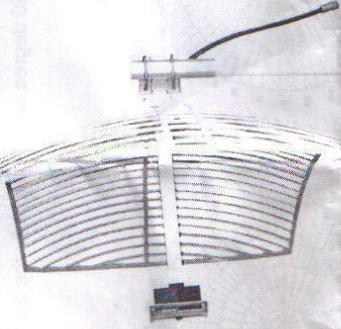
Datos de Simulación



Perfil Topográfico Pilisurco – ESPE Latacunga

ANEXO 5

24dBi SemiGrid Parabolic 2.4~2.5GHz Manual Instructions



Features:

- * Wide frequency range (2.4~2.5GHz)
- * High Quality For High Gain (Superior Performance)
- * Aluminum Die Cast Grid & Stainless Steel L Bracket Materials
- * All Weather Operation (Rugged & Weatherproof)
- * Easy To Assemble & Install
- * 30-cm Coax lead with special protector connector

Technical Parameters

Frequency Range:	2400~2500MHz
Bandwidth:	100MHz
Gain:	24dBi
3dB Beam Width:	10°x 14°
F/B Ratio:	31dB
V.S.W.R.:	≤1.5
Nominal Impedance:	50 Ω
Polarization:	Vertical or Horizon
Max. Power:	100w
Connector:	N female
Dimension:	900x600(mm)
Weight:	2.5 kg
Wind Resistance:	60m/s

Installation Instructions

1. Assemble the square grid (1' and 2' with 4M5 bolts into integrity.

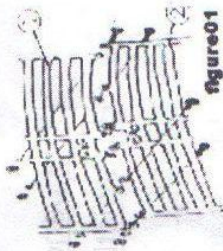


figure01

2. Fix the "L" type clamp 3' at the back of the grid by 2M6 bolts (figure2), then erect the feed pipe4' in front also by 2M6 bolts. The frid of the reflector must align the grids of the antenna. (Figure3)

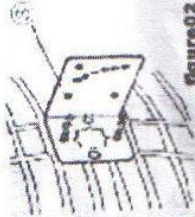


figure02

3. Tighten the auxiliary mast 5' with the "U" type clamps.

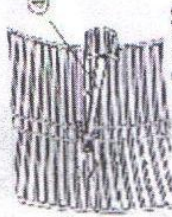


figure03

4. Wrap up the connector and socket by the water-proof Tape.

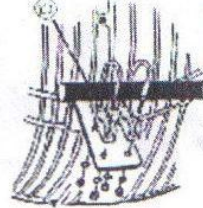


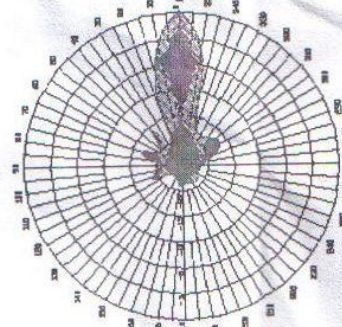
figure04

5. Check the V.S.W.R. to make sure the connection.

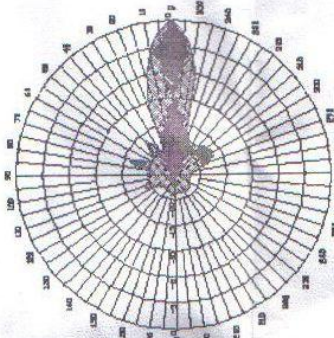
Patterns

If you want to get a vertical polarization, the "L" type clamp should be turned 90 degree angle.

Change the position of one side of the U type clamp to get the up tilt. The up tilt can be 10,20,...60 degree angle, please fix the antenna upside-down.



H-Line



V-Line

Applications

- * 2.4GHz ISM Band / Wimax Band
- * IEEE 802.11b/g/n/Wireless LAN
- * Point to point/ point to Multi-point Application
- * Long Distance Communications Reach
- * Client Antenna
- *Wireless Bridge / Video Systems

ANEXO 6

Se debe descargar el inyector y la interfaz gráfica de usuario para DITG, localizadas en las siguientes páginas web:

Inyector D-ITG-2.7.0-Beta: <http://www.grid.unina.it/software/ITG/>

Interfaz itggui-0911: <http://www.semken.com/projekte/index.html>

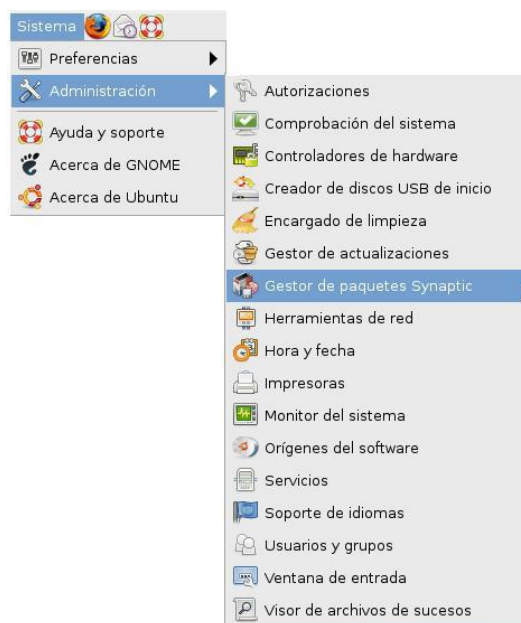
El inyector de tráfico DITG que se utilizara en el presente laboratorio, se implementará sobre el sistema operativo UBUNTU, por lo que se necesita su previa instalación, y se recomienda montar el sistema dentro de una partición del disco debido a ciertas imitaciones que presenta en maquina virtual.

Sun-java6-jre.

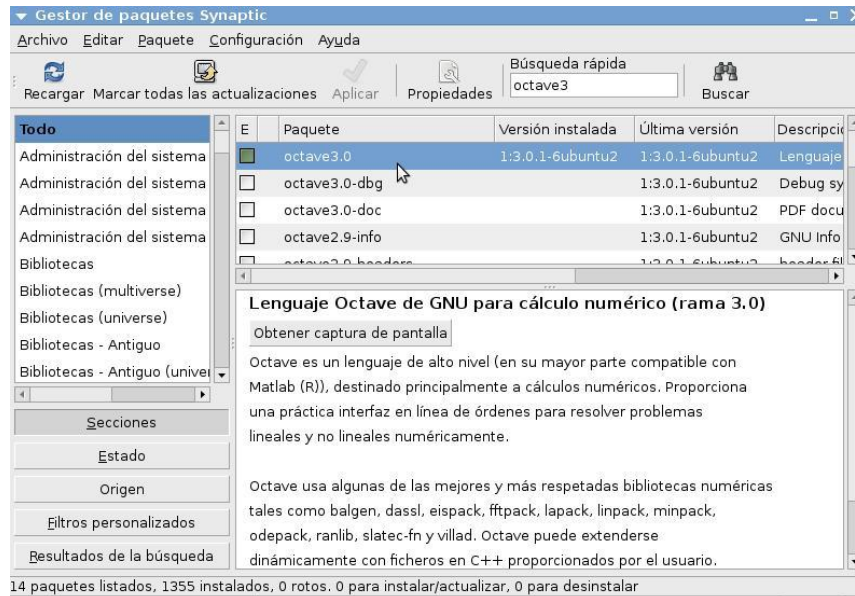
g++

octave3.0

Los que serán descargados con la ayuda del gestor de paquetes synaptic dentro de la opción administración en la pestana Sistema, como se muestra en las siguientes figuras:



Instalación de g++



Instalación de octave 3.0

Instalación del inyector

Para la instalación del simulador de inyección de tráfico, se seguirán los siguientes pasos:

1. Se crea una carpeta dentro del usuario llamada DITG.
2. Se descarga en _el el inyector y su interfaz gráfica descomprimida.
3. Se abre un terminal que está dentro de la opción accesorios en la pestaña aplicación.



Terminal

4. Desde la carpeta src del inyector compilamos haciendo: make
 - cd /home/user/DITG/src
 - make

5. Esto permite obtener los binarios en el directorio /home/user/DITG/bin, y los copiamos en /usr/local haciendo:
 - Mediante el terminal
 - cp /home/usuario/DITG/bin/ITG* /usr/local/bin
 - cp /home/usuario/DITG/bin/lib* /usr/local/lib

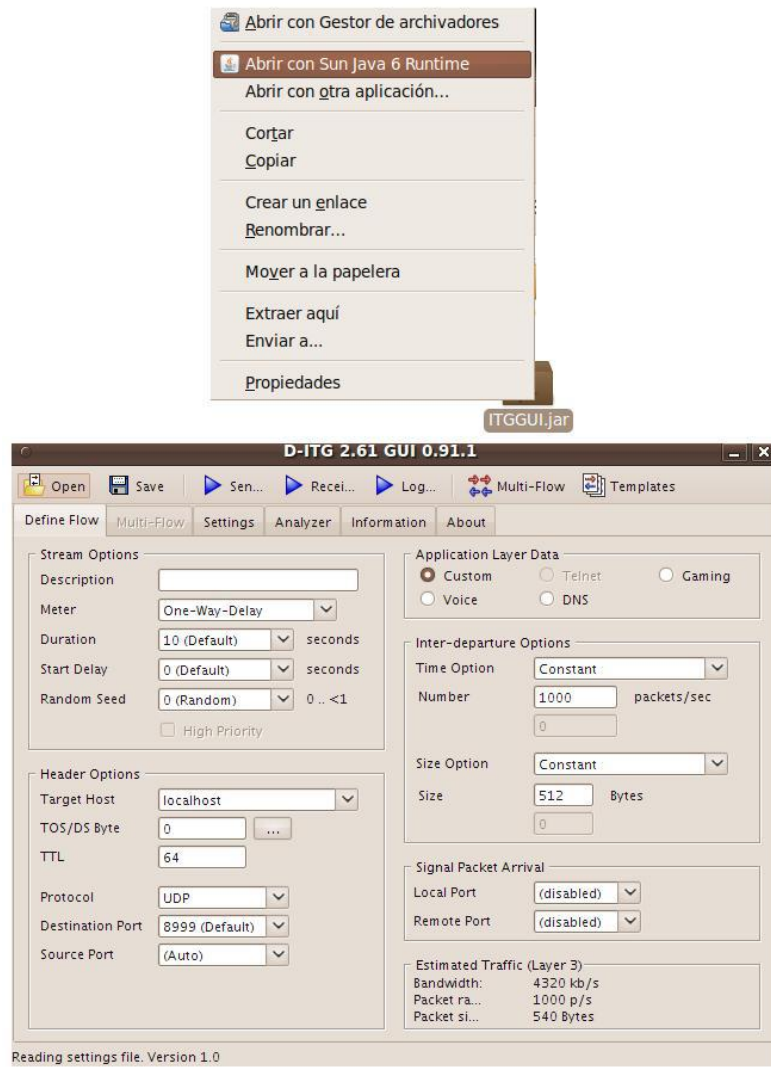
 - manualmente

6. Copiando los archivos membretados por ITG al directorio /usr/local/bin y los membretados por lib a /usr/local/lib

7. Se crea el directorio mediante mkdir /home/alumno/DITG/logs, o manualmente. En esta carpeta se guardaran los logs, cuando se haga uso del inyector.

8. Para desplegar la interfaz gráfica se ejecuta desde el directorio /home/user/DITG:
 - \$ java-jar ITGGUI.jar

O haciendo click derecho sobre ITGGUI.jar mediante la opción abrir con **Sun java 6 Runtime**, desplegándose la ventana que se muestra a continuación:



Interfaz Gráfica

ANEXO 7

INSTALACIÓN Y UTILIZACIÓN DE *GNUplot*

Instalación

```
sudo apt-get install gnuplot
```

La descarga es de aproximadamente 10.5 Mb y la instalación ocupará casi 30 Mb de espacio. En caso de tener problemas con esta forma de instalar, puedes visitar la página oficial y descargarte el código fuente.

Ejecución

Sólo se ejecuta *gnuplot*, verás que te despliega un mensaje (versión, créditos, un poco de ayuda) en pantalla antes de entregar el *prompt*:

```
gnuplot
```

A partir de ahora está dentro del programa, por lo que en los comandos que se presentará, irán acompañados de *gnuplot>* como se muestra en la Figura:



```
fer@fer-laptop:~$ gnuplot

G N U P L O T
Version 4.2 patchlevel 6
last modified Sep 2009
System: Linux 2.6.32-21-generic

Copyright (C) 1986 - 1993, 1998, 2004, 2007 - 2009
Thomas Williams, Colin Kelley and many others

Type 'help' to access the on-line reference manual.
The gnuplot FAQ is available from http://www.gnuplot.info/faq/

Send bug reports and suggestions to <http://sourceforge.net/projects/gn
uplot>

Terminal type set to 'wxt'
gnuplot> █
```

Utilización

plot es el comando básico con el que vamos a graficar dentro de *gnuplot*. De este y todos los comandos puedes pedir ayuda con el comando **help**.

```
gnuplot> help plot
```

Si ejecutamos el siguiente comando:

```
plot "Datos.dat"
```

Donde Datos.dat, se refiere al archivo donde están los datos que deseamos graficar, si ingresamos solo el nombre con la extensión que tiene, buscara el archivo dentro de la carpeta donde este actualmente ejecutándose *Gnuplot*, si queremos especificar otra ruta, ingresamos la ruta completa del archivo.

FECHA DE ENTREGA: _____

Evelin Maricela Barrionuevo Zapata

Viviana Alejandra Tamayo Vegas

Dr. Gonzalo Olmedo

**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA, EN TELECOMUNICACIONES**