



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"Análisis de Factibilidad para la Implementación de un Servidor de VoIP
Inalámbrico basado en Asterisk para Intercomunicar los diferentes edificios
de la FIEC utilizando una Red Inalámbrica tipo Malla"

Informe De Proyecto de Graduación

Previa la Obtención del Título de:

INGENIERO EN TELEMÁTICA

Presentado por:

HARRY DAMIAN LEYTON ACUÑA

DANIEL EDUARDO TAGLE VIVANCO

Guayaquil - Ecuador
2014

AGRADECIMIENTO

Agradecemos:

Primeramente a Dios por
permitirnos realizar el
proyecto de la mejor manera, a nuestros padres.

A la Ing. Patricia Chávez, por
su ayuda y dedicación en la enseñanza
para poder culminar nuestra
carrera de forma exitosa.

DEDICATORIA

A Dios,
A mi familiares y
A mis amigos
Por su total apoyo a lo
Largo de mi carrera universitaria.

DANIEL EDUARDO TAGLE VIVANCO

A Dios,
A mi familia, mi novia y amigos
Por su confianza y apoyo incondicional
durante mi vida y carrera universitaria.

HARRY DAMIAN LEYTON ACUÑA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

PhD. BORIS VINTIMILLA B.
SUB-DECANO FIEC

ING. PATRICIA CHÁVEZ B.
DIRECTOR PROYECTO

ING. ALBERT ESPINAL
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la **Escuela Superior Politécnica del Litoral**”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

HARRY DAMIAN LEYTON ACUÑA

DANIEL EDUARDO TAGLE VIVANCO

RESUMEN

El uso de las redes inalámbricas hoy en día ha tomado un rol importante en las comunicaciones, debido a lo versátiles que pueden resultar en cuanto a movilidad y cobertura, así como sus costos de implementación y mantenimiento. Así como el uso que ahora tienen las redes no solo para la transmisión de datos, sino también para servicios de voz sobre ip, lo que ayuda a las empresas con disminución de costos y ampliar el uso de la red.

Este proyecto se enfoca en un análisis de factibilidad para la implementación de un servidor de VoIP inalámbrico basado en Asterisk para intercomunicar los diferentes edificios de la FIEC (Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación) con la utilización de radio enlaces en una red tipo malla. Esto, sin la necesidad de usar un servidor tradicional para el servicio de voz sobre IP teniendo en cuenta factores como calidad de servicio y capacidad de la red en situaciones extremas de estrés y saturación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO 1	1
1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN	1
1.1. Justificación	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Requerimientos	4
1.4. Topología de Redes	5
1.5. Protocolos de enrutamiento para redes inalámbricas	12
1.6. Radio Enlace	16
1.7. Análisis de la Solución	19
CAPÍTULO 2	23
2. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	23
2.1. Dispositivos que conforman la red inalámbrica.....	23
2.1.1 Enrutadores Inalámbricos	24
2.1.2 Equipos de Radio.....	25
2.2. Esquema de la red inalámbrica	26
2.3. Esquema del radio enlace.....	29
2.4. Tipos de mediciones y pruebas a realizarse	31
CAPÍTULO 3	36

3.	IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	36
3.1.	Instalación y configuración de dispositivos	36
3.2.	Verificación del funcionamiento adecuado de la red	44
3.3.	Pruebas de conectividad entre las redes tipo malla interconectadas	45
3.4.	Pruebas de alcance y calidad de servicio	47
	CAPÍTULO 4	57
4.	PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
4.1.	Prueba de Saturación	58
4.2.	Prueba de Estrés	58
4.3.	Reporte de Prueba de Saturación	59
4.4.	Reporte de Prueba de Estrés	62
4.5.	Análisis de Resultados	68
	Conclusiones y Recomendaciones	69
	ANEXOS	72
	Anexo A	73
	Anexo B	76
	Anexo C	85
	Anexo D	89
	Anexo E	92
	Anexo F	96
	Anexo G	100
	Anexo H	102
	Bibliografía	104

ABREVIATURAS

AODV: Vector Distancia Ad Hoc Bajo Demanda (Ad hoc On-Demand Distance Vector)

DSDV: Protocolo de ruteo dinámico de destinos en secuencia y distancia de vectores. (Destination Sequenced Distance Vector)

DSR: Fuente de Enrutamiento Dinámico. (Dynamic Source Routing)

IP: Protocolo de Internet (Internet Protocol)

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunication Union)

OLSR: Protocolo de enrutamiento de estado de enlace (Optimized Link State Protocol)

SIP: Protocolo de Inicio de Sesiones (Session Initiation Protocol)

TBRPF: Diseminación de topología basado en reenvío por camino inverso.
(Topology Broadcast based on Reverse Path Forwarding)

TORA: Algoritmo de ruteo ordenado temporalmente (Temporally Ordered Routing Algorithm)

USB: Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)

VoIP: Protocolo de Voz sobre IP (Voice over Internet Protocol)

UDP: (User Data Protocol) Es Protocolo de nivel de transporte

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las telecomunicaciones han tenido un desarrollo importante, lo que las hace necesarias y en ciertas ocasiones imprescindibles en el diario vivir, desde los hogares hasta las diferentes empresas en general. La necesidad de comunicación es evidente en todos los aspectos y más aún en niveles corporativos, razón por la cual las empresas poseen centrales telefónicas ya sean de índole tradicional o a través de la red con servicios de telefonía de voz sobre ip. La telefonía a través de voz sobre IP, ha ido tomando ventaja debido a sus costos de implementación y mantenimiento de la misma, que resultan relativamente más baratos que los de una central telefónica tradicional.

El objetivo principal de este proyecto es determinar el análisis de factibilidad para la implementación de un servidor de VoIP inalámbrico basado en Asterisk para intercomunicar los diferentes edificios de la FIEC utilizando una red inalámbrica tipo Malla, a fin de aprovechar las ventajas de una red inalámbrica en cuanto a la movilidad y cobertura se refiere con el objetivo de medir calidad de servicio en la red implementada y someter la misma a situaciones extremas para determinar si se podría llevar a cabo futuras implementaciones reales de este tipo en la facultad.

En las pruebas que se realizaron durante recorridos móviles dentro de las instalaciones de la facultad, se tomaron en cuenta ciertos parámetros para analizar como ancho de banda, retardo, variación de retardo. Así también se realizaron pruebas de estrés y saturación en las redes implementadas de este proyecto generando un gran número de llamadas simultaneas a fin de determinar la cantidad de llamadas que se requirió para colapsar el servicio de la central telefónica implementada en la red.

Los resultados que se obtuvieron fueron sometidos a análisis para determinar si estos parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos y sugeridos por la UIT para comunicaciones de voz sobre IP.

CAPÍTULO 1

1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se mostrarán los diferentes tipos de topologías y protocolos de enrutamiento que pueden ser aplicados a las redes inalámbricas, así como los requerimientos necesarios para realizar el proyecto.

1.1. Justificación

Debido al avance de las telecomunicaciones, hoy en día se ha vuelto indispensable brindar movilidad a los usuarios de una red, por lo que se implementan sistemas que utilicen medios inalámbricos con el fin de cumplir este objetivo. El uso de servicios de VoIP cada día es más común en las empresas debido a que ofrece las mismas ventajas que la telefonía tradicional pero a un costo relativamente más bajo. Con la ayuda de Asterisk, un software de libre distribución, podemos

convertir un enrutador inalámbrico en un servidor de VoIP con el fin de darle una mayor utilidad y versatilidad al recurso inalámbrico

La gran ventaja que tenemos al usar un enrutador como servidor de VoIP es la gran versatilidad que nos brinda el mismo en cuanto a costos, portabilidad y uso de energía. Una red de enrutadores es mucho más fácil de transportar o cambiar de ubicación que unos servidores, lo cual nos permite movilizar nuestro servidor y por consiguiente nuestro servicio de VoIP inalámbrico con total facilidad, en caso de ser necesario. Además, aprovecha mejor los espacios físicos y esto nos facilita la implementación de la red.

Aunque un enrutador no proporciona el mismo rendimiento que un servidor tradicional, por cuestiones netamente de hardware como por ejemplo memoria de procesamiento, este si cumple con los parámetros recomendados por la ITU con lo cual nos aseguramos un rendimiento aceptable.

1.2. Antecedentes

Con el pasar del tiempo, la forma de la comunicación ha ido evolucionando a tal punto que ahora podemos comunicarnos con personas en cualquier parte del mundo con suma facilidad, ya sea usando las líneas telefónicas o el internet. El uso y evolución de éste último, ha ido aumentando drásticamente en los últimos años por lo que ahora la mayoría de las comunicaciones se realizan utilizando el internet. Razón por la cual la tecnología de VoIP que permite el envío de voz a través del internet ha ganado terreno ya que el uso de las redes es hoy en día mucho más versátil.

Actualmente en nuestro país, a pesar de que la mayoría de las empresas utilizan centrales telefónicas de telefonía tradicional (analógicas), el servicio de VoIP está siendo utilizado cada vez en más, ya que ofrece mayores prestaciones al momento de configurar la central, con lo que se llega a tener aspectos muy importantes como la disminución de costos de implementación y operativos.

La Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, según los datos proporcionados por el director del área de computación, el Ing. Juan Moreno, no cuenta actualmente con un servidor de VoIP, que

pueda ser utilizado por el personal y alumnos dentro de sus instalaciones y más aún con un servidor inalámbrico de VoIP. Este servidor inalámbrico podría funcionar más óptimamente si se utiliza una Red tipo malla en vez de la configuración que existe actualmente dentro de la Facultad ya que gracias a la redundancia, nos aseguramos que no habrá pérdida de conexión.

La facultad al contar con una red inalámbrica ya implementada y operativa, sería muy oportuno determinar si los equipos que conforman esta red permiten la integración del software Asterisk vía USB para implementar el servidor de VoIP en dichos equipos.

1.3. Requerimientos

Para este proyecto tomaremos en cuenta los requerimientos operativos, físicos y funcionales. Los requerimientos operativos se refieren al tipo de topología física y lógica que tendrá nuestra red. También el tipo de protocolo a usarse para la comunicación entre los diferentes dispositivos que conforman la red. Los requerimientos físicos son la parte material que se empleará en este proyecto, es decir, “el hardware”. El proyecto estará conformado por enrutadores

inalámbricos, donde uno de ellos actuará como el servidor de VoIP, los dispositivos terminales que utilizados por los usuarios tales como (computadores portátiles o teléfonos inteligentes), también contará con equipos de radio para la transmisión y recepción, así como antenas para la conformación del radio enlace. Los requerimientos funcionales son las especificaciones mínimas que permitirán que el proyecto se desarrolle y obtenga una funcionalidad deseada. Entre estos requerimientos se encuentran, tener redundancia en la red para una total comunicación entre todos los dispositivos de la topología. También tenemos que garantizar que los requerimientos mínimos que solicita la UIT sean cumplidos y lograr la total libertad de movilidad a los usuarios de esta red.

1.4. Topología de Redes

Todas las redes cuentan con dos tipos de topología: lógica y física. La topología lógica indica como los dispositivos se comunican dentro de la red, es decir, como el flujo de datos es distribuido a través de los medios físicos. La topología física, como su nombre lo indica, se refiere únicamente a la estructura física de la red. Debido a

que nuestra red es inalámbrica, detallaremos únicamente los tipos de topologías lógicas y físicas que se aplican a este tipo de redes.

Hay 3 tipos de topologías lógicas que se pueden usar en una red inalámbrica, entre las que se encuentran la topología Ad-Hoc que se caracteriza por la carencia de una administración central. La conectividad en dispositivos dentro de esta topología se establece a través de enlaces punto a punto, comunicándose únicamente con dispositivos que se encuentran dentro del rango de cobertura con el objetivo de proporcionar flexibilidad y autonomía como se muestra en la figura 1.1 aprovechando los principios de auto-organización. Cada dispositivo debe tener el mismo identificador de red para una correcta comunicación.

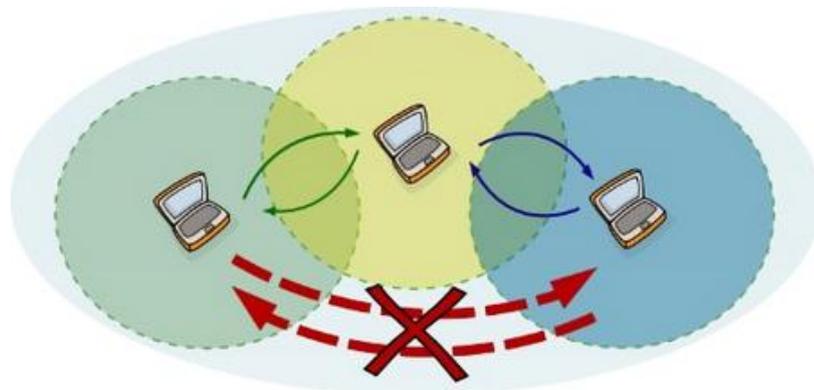


Figura 1.1 Topología Ad-Hoc [14]

La topología en infraestructura se caracteriza por tener un dispositivo central que se denomina punto de acceso o AP por sus siglas en

inglés. Este equipo se encarga de centralizar las comunicaciones y se configura el identificador de red únicamente en este equipo.

Como se muestra en la figura 1.2, los dispositivos dentro de la red se comunican entre ellos a través del punto de acceso. Si llegase a fallar el punto de acceso y al ser una comunicación centralizada, el resto de equipos no podrán comunicarse entre sí.

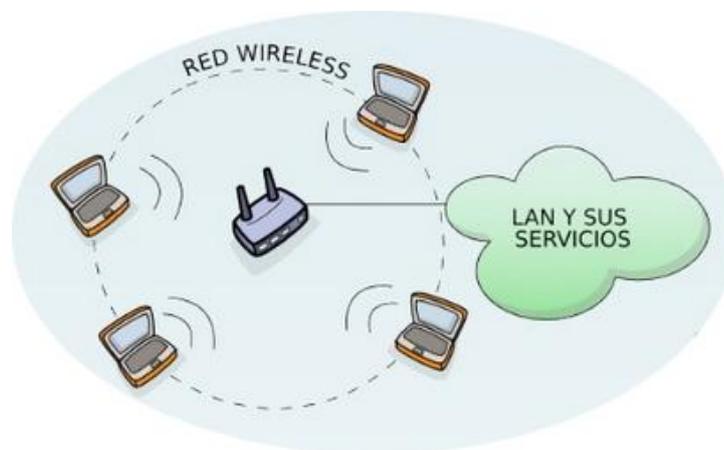


Figura 1.2 Topología Infraestructura [14]

En la topología malla se elimina la necesidad de un equipo central (punto de acceso) para que los diferentes equipos puedan comunicarse entre sí. Como se ilustra en la figura 1.3, los equipos pueden establecer comunicación y compartir recursos independientemente del resto de equipos de la red, por lo cual si algún equipo llegase a fallar, la comunicación del resto de la red no se vería afectada.

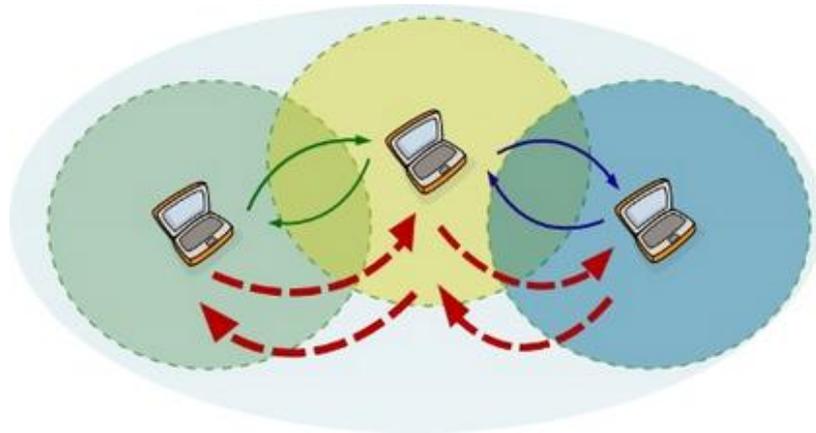


Figura 1.3 Topología Malla [14]

Entre las topologías físicas para redes WLAN, tenemos la topología de anillo, en la que cada equipo tiene enlaces punto a punto únicamente con sus dispositivos adyacentes como se muestra en la figura 1.4. La información viaja en una sola dirección por lo cual cada dispositivo recibe y envía la información hasta que esta llegue a su destino. Solo un equipo puede “hablar” a la vez y cada uno, en su respectivo turno, analizará la información y si él no es el destino la pasará al siguiente dispositivo.

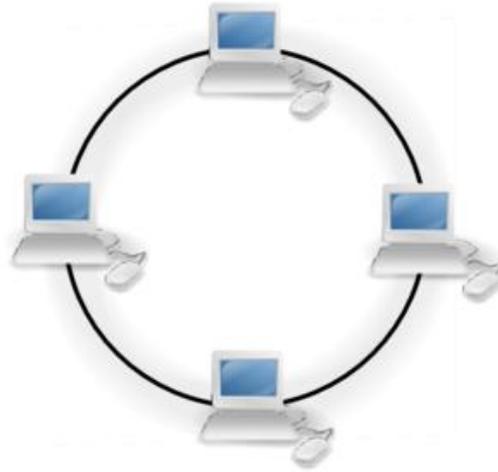


Figura 1.4 Topología de Anillo [15]

La topología de malla se caracteriza por el hecho de que cada equipo tiene una conexión punto a punto a cada uno de los otros dispositivos pertenecientes a la red, como se ilustra en la figura 1.5. De esta manera, la información puede llegar al destinatario por varios caminos evitando la saturación de algún enlace. La gran ventaja de esta topología es que al estar todos sus dispositivos conectados entre sí, si algún nodo o enlace falla, la comunicación del resto de la red no se verá afectada en lo absoluto.

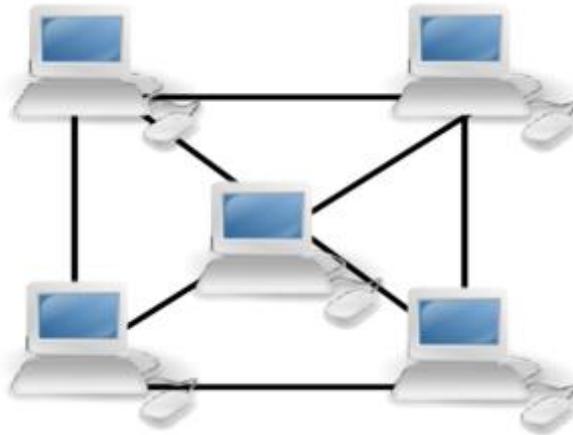


Figura 1.5 Topología de Malla [15]

Mientras en la topología estrella todos los dispositivos están conectados a través de un enlace punto a punto hacia un concentrador principal por el cual pasa todo el flujo de información, como se observa en la figura 1.6. Si un dispositivo quiere comunicarse con otro, la información deberá pasar por el concentrador principal. Una de las ventajas principales de ésta topología es escalabilidad que ofrece debido a que todos los dispositivos se conectan al concentrador, pero una de las principales desventajas puede tener lugar al momento de fallar el concentrador, dejando así todos los dispositivos de ésta red incomunicados.



Figura 1.6 Topología de Estrella [15]

En la topología árbol se puede ver como se forma con una combinación de varias topologías en estrella conectadas hacia un concentrador central como se muestra en la figura 1.7. Los concentradores de cada topología estrella (concentradores secundarios) se conectan al concentrador principal. De esta manera, la información se propaga desde el concentrador principal hacia los secundarios para poder así llegar a algún dispositivo. La desventaja principal de ésta topología se presenta cuando falla el concentrador principal, perdiéndose la conexión en toda la red, mientras que si falla un concentrador secundario, la red pierde parcialmente la comunicación, esto es, la pérdida de conexión se limita solo al sector de la red asociado al concentrador secundario, sin verse afectado el resto de la topología.



Figura 1.7 Topología de Árbol [16]

1.5. Protocolos de enrutamiento para redes inalámbricas

Los protocolos de enrutamiento tienen como función principal encontrar la mejor ruta hacia los dispositivos destino de una red basándose en las tablas de enrutamiento que posee cada enrutador, información que es necesaria para alcanzar un destino en una determinada red. Estas tablas se actualizan automáticamente cada cierto intervalo de tiempo o cuando la topología sufre algún cambio.

Existen 3 tipos de protocolos de redes inalámbricas: reactivos, proactivos e híbridos. Los protocolos proactivos mantienen constantemente actualizada la tabla de enrutamiento por medio del intercambio de paquetes de señalización en intervalos fijos de

tiempo. La ventaja de este tipo de protocolo es que se tiene actualizadas las tablas en cada petición de enrutamiento. La desventaja, se puede generar una sobrecarga en la red ya que incluso cuando no hay ninguna petición de enrutamiento, las tablas siguen actualizándose.

Los protocolos reactivos solo actualizan sus tablas de enrutamiento al momento que algún paquete necesite ser transmitido y así evitar la sobrecarga de la red pero los tiempos de entrega aumentan debido al proceso para calcular la mejor ruta.

Los protocolos híbridos, como su nombre lo indica, buscan sacar provecho a las ventajas de los otros dos tipos de protocolos, aplicando los algoritmos usados en los protocolos proactivos únicamente a los nodos adyacentes del dispositivo que desea transmitir.

Los protocolos reactivos son AODV, DSR y TORA, mientras que los proactivos son OLSR, DSDV y HSLs.

AODV establece rutas bajo demanda, es decir, no mantiene actualizaciones periódicas entre nodos y solo intenta descubrir una

ruta cuando un nodo de la red así lo requiera. Las rutas son establecidas mediante el uso de ciertos paquetes como “Hello”, Route Request (RReq), Route Reply (RREP) y Route Error (RERR). Una de las ventajas más destacables de este protocolo es el menor procesamiento de CPU y consumo de ancho de banda relativamente bajo, pero la principal desventaja es la obtención de una respuesta más lenta al momento de converger la red.

DSR crea las rutas únicamente cuando un nodo fuente requiera enviar datos o información a un nodo destino. Los dispositivos que usan este protocolo reactivo envían paquete en los cuales se encuentra incluido dentro del encabezado el camino o ruta por el cual el paquete debe ser transmitido. Este protocolo posee dos mecanismos para descubrir y mantener rutas para verificar que se encuentren activas al momento de necesitarlas, estos son el “*Route Discovery*” y “*Route Maintenance*” respectivamente. La ventaja de este protocolo se debe a su forma de operar, no sobrecarga la red debido a la disminución de procesamiento los nodos intermedios.

TORA se caracteriza por proporcionar al dispositivo remitente múltiples caminos para que el paquete pueda llegar al destino. Cuando un nodo quiere conocer el trayecto hacia un destino, éste

manda un paquete de difusión tipo QRY (Petición) y los nodos que respondan enviarán paquetes UDP que incluirán el respectivo peso del enlace. De ésta manera, se va decidiendo el mejor camino posible para la transmisión de paquetes hacia un nodo destino.

OLSR utiliza mensajes de control, como el "Hello" que es enviado cada cierto intervalo de tiempo de un nodo a sus vecinos para indicar que dicho dispositivo se encuentra activo, otro mensaje de control que es utilizado es el TC (Topology Control) que posee información sobre la red, para que todos los nodos mantengan sus bases de datos actualizados. Las ventajas proporcionadas por este protocolo son la herencia de la estabilidad de los algoritmos de estado de enlace y el ofrecimiento de rutas disponibles para su uso inmediato.

En DSDV cada dispositivo de la red tiene una tabla de enrutamiento que posee números de secuencia que permiten distinguir una tabla actualizada de una más antigua, también indica los saltos que faltan para llegar a un destino. La actualización de las tablas se realizan a través del intercambio de información entre nodos adyacentes y aplicando los algoritmos del camino más corto y menor costo. Cuando el enrutador nota que algún camino es inalcanzable, a este

lo asocia en su tabla de enrutamiento con un número de salto muy elevado (infinito) lo cual hace que el camino nunca sea utilizado.

En TBRPF los nodos crean un árbol basado en información parcial de la topología (que tiene almacenada en su tabla de enrutamiento) y mediante la utilización de una modificación del algoritmo de Dijkstra. Cuando los dispositivos envían las actualizaciones de enrutamiento cada enrutador envía información de su árbol donde cuenta con información sus vecinos activos, pero ésta información es solo la diferencia entre el estado previo y el actual de la red.

1.6. Radio Enlace

Se denomina radio enlace a la interconexión entre terminales de telecomunicaciones a través de ondas electromagnéticas. Los radioenlaces son sistemas que permiten la comunicación entre uno o varios puntos fijos situados sobre cualquier superficie o zona geográfica para la transmisión y recepción de señales mediante su modulación ya sean éstas en frecuencia o amplitud, con características que permiten determinar una comunicación entre los extremos. Las ondas transmitidas en los radio enlaces no requieren

de un medio físico de transporte, por lo que su propagación se hace a través del aire como se muestra en la figura 1.8. Un radio enlace consta de un equipo transmisor y un receptor en cada extremo, así como el uso de antenas para hacer el envío y recepción y poder establecer la comunicación.

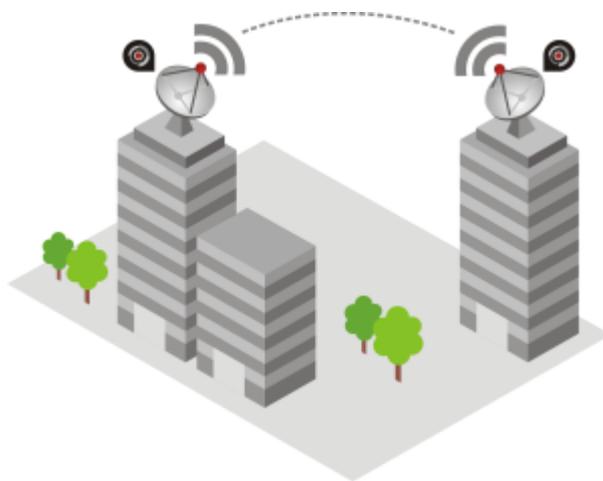


Figura 1.8 Radio Enlace [17]

Para el establecimiento de radio enlaces se deben tener en cuenta ciertas consideraciones como la determinación de las coordenadas de los extremos del radio enlace (estos son latitud, longitud y altura sobre el terreno), para los casos de enlaces de corto y mediano alcance se puede comprobar la existencia de línea de vista, para asegurar una posición precisa para las antenas, en caso de no existir línea de vista ya sea por algún obstáculo es imperativo el

cálculo de altura de un mástil para evitar la obstrucción. Es necesario tener cuidado con motores u otros equipos que generan campos magnéticos ya que éstos pueden ocasionar algún tipo de distorsión en la señal a transmitir.

Los radio enlaces presentan la ventaja de poder superar las irregularidades y obstáculos que se presentan el terreno, también puede extender el alcance de transmisión con la colocación de estaciones repetidoras, y proveen un ancho de banda mayor.

Una de las desventajas que presentan los radios enlaces es la posible la captación e interferencia de la señal por lo que se requiere emplear métodos de criptografía, esta clase de dispositivos pueden ocasionar interferencias electromagnéticas y uno de los principales puntos a tomar en cuenta es la necesidad de licencia para trabajar en ciertas bandas del espectro radioeléctrico.

Hemos decidido usar OLSR como protocolo de enrutamiento. Debido a que OLSR es un protocolo proactivo, sus tablas de enrutamiento se actualizan periódicamente y por ende, siempre tendrá rutas activas en sus tablas, también envía mensajes de control a los diferentes nodos para determinar el estado de los enlaces. Esto es muy

importante para el tipo de servicio a implementar, por lo que siempre será necesaria información actualizada de las rutas y enlaces disponibles. Los protocolos DSDV y TBRPF, a pesar de ser también proactivos, no se los utilizo porque consumen una mayor cantidad de recursos para la selección de rutas y son utilizados en redes principalmente en redes de mayor tamaño. Los protocolos reactivos no actualizan sus tablas de enrutamiento periódicamente y como resultado han sido descartados.

Para el radio enlace se ha optado por las bandas del espectro radioeléctrico no licenciadas, para este caso la banda de 2.4 GHz. Para los servidores del servicio de VoIP se va a utilizar Asterisk debido a las limitaciones de espacio en los enrutadores inalámbricos.

1.7. Análisis de la Solución

Para llevar a cabo el proyecto de la mejor manera posible hemos decidido usar las siguientes soluciones.

Se utilizará dos tipos de topología lógica ya que trabajaremos con radios en dos bandas diferentes (2.4 GHz y 5 GHz). La banda de 2.4

GHz se la utilizará para la comunicación entre los enrutadores y los dispositivos clientes. La banda de 5 GHz se la usará para facilitar la administración de los equipos ya que la configuración de banda de 2.4 GHz se la estará cambiando frecuentemente al momento de la realización del proyecto.

Como topología lógica dentro de la banda de 5 GHz usaremos la Ad-Hoc, ya que nos permite transmitir la información punto a punto. Decidimos no utilizar la topología tipo malla por lo que utiliza más recursos de hardware para comunicar a todos los dispositivos entre sí y este tipo de topología es utilizada en redes más grandes y complejas.

Para la banda de 2.4 GHz usaremos la topología tipo infraestructura. De esta manera, todos los enrutadores se conectarán hacia el servidor de VoIP y realizarán la tarea de repetidor para así lograr expandir la señal inalámbrica del servidor por toda el área que se desea cubrir. Con este tipo de configuración, los enrutadores servirán como intermediario entre el servidor y el cliente cuando este no se encuentre dentro del área de cobertura que ofrece el enrutador servidor.

Como topología física utilizaremos la tipo malla. Este tipo de topología nos brinda redundancia de red con lo cual si algún nodo llegase a fallar, la comunicación entre los dispositivos no se verá afectada, garantizando de esta forma disponibilidad de la red. La topología estrella, árbol y anillo no nos brindan esa gran ventaja y por este motivo hemos decidido no utilizar dichas topologías.

Hemos decidido usar OLSR como protocolo de enrutamiento para la banda de administración que trabaja en 5 GHz. Debido a que OLSR es un protocolo proactivo, sus tablas de enrutamiento se actualizan periódicamente y por ende, siempre tendrá rutas activas en sus tablas, también envía mensajes de control a los diferentes nodos para determinar el estado de los enlaces. Los protocolos DSDV y TBRPF, a pesar de ser también proactivos, no se los utilizo porque consumen una mayor cantidad de recursos para la selección de rutas y son utilizados en redes principalmente en redes de mayor tamaño. Los protocolos reactivos no actualizan sus tablas de enrutamiento periódicamente y como resultado han sido descartados.

Para el radio enlace se ha optado por las bandas del espectro radioeléctrico no licenciadas, para este caso la banda de 2.4 GHz.

Para los servidores del servicio de VoIP se va a utilizar Asterisk debido a las limitaciones de espacio en los enrutadores inalámbricos.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Este capítulo trata la forma en la que se desarrolló el proyecto, los equipos seleccionados para formar parte de la topología realizada y se detallan los tipos de pruebas y mediciones que se llevaron a cabo para medir la eficiencia de la red.

2.1. Dispositivos que conforman la red inalámbrica

Los diferentes nodos que conformarán la red están conformados por enrutadores inalámbricos, dispositivos que permiten conectar otros enrutadores u otros equipos terminales ya sean éstos computadoras portátiles, dispositivos de gama alta o cualquier equipo que posea una tarjeta de red inalámbrica, los cuales formarán parte de la red.

Entre los enrutadores inalámbricos que serán utilizados para los nodos están los de la marca D-Link modelo DIR-825, cuyas

características brindan buena cobertura y rápida velocidad de conexión, y posee un puerto USB. Los equipos de radio para la transmisión y recepción son de la marca Ubiquiti modelo Nanostation Loco M2.

2.1.1 Enrutadores Inalámbricos

El enrutador D-Link DIR-825 es un dispositivo que nos ofrece todas las facilidades para realizar este proyecto. Cuenta con un puerto USB 2.0 el cual mediante la adaptación de una memoria externa nos permitirá instalar el programa Asterisk y tiene la gran ventaja de trabajar en dos bandas (2.4GHz y 5GHz) con lo cual podremos tener una banda exclusiva para administración de los equipos de la red y utilizar la otra para la comunicación entre los dispositivos que componen la red y los clientes.

Este enrutador soporta los estándares: IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11a, IEEE 802.3, y IEEE 802.3u

El dispositivo cuenta con 4 puertos Gigabit para la LAN y 1 puerto Gigabit para la WAN. A continuación se muestra las características más importantes del enrutador:

Tabla 2.1 Hardware del enrutador inalámbrico D-Link Dir 825

Característica	Descripción
Procesador	AR7161 rev 2
Velocidad CPU	680 MHz
Memoria Flash	8192 Kb
Memoria RAM	64 Mb
Inalámbrico	2 x Atheros AR922X 2.4GHz/5.0GHz 802.11abgn

2.1.2 Equipos de Radio

El equipo Ubiquiti NanoStation LocoM2 es un equipo de radio que trabaja en la banda de 2.4GHz. Es un equipo muy fácil de configurar y además posee herramientas muy poderosas para analizar las redes.

Tabla 2.2 Hardware del Ubiquiti NanoStation Loco M2

Característica	Descripción
Procesador	Atheros MIPS 24KC
Velocidad CPU	400 MHz
Memoria Flash	8 Mb
Memoria RAM	32 Mb
Interfaces de Red	(1) 10/100 Puerto Ethernet

Clientes

Se utilizaran 3 dispositivos terminales para la realización de pruebas dentro de la red. Se usara una computadora portátil

con sistema operativo Windows, celular marca HTC con Android y finalmente un iPod “Touch” con iOS 7 como sistema operativo. Esto nos permitirá realizar las pruebas en dispositivos de diferentes fabricantes y sistemas operativos.

Tabla 2.3 Hardware de los dispositivos terminales

Dispositivo	Marca	CPU	Memoria RAM	Sistema Operativo
Computadora Portátil	Toshiba	Intel® Core (TM) i7 2.34 GHz	8Gb	Windows 8.1
Celular	HTC	Qualcomm APQ8064T Snapdragon 600	2Gb	Android 4.3
iPod	Apple	Dual-Core A5	512Mb	iOS 7

2.2. Esquema de la red inalámbrica

La red inalámbrica estará conformada por dos subredes que serán interconectados a través de un radio enlace. La subred 1 está ubicada en el área de los laboratorios de electrónica y maquinaria en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación como se muestra en la figura 2.1 y 2.2, donde el nodo 1 (servidor) está ubicado afuera del Laboratorio Pedro Carló, los nodos 2 y 3 se encuentran fuera del Laboratorio de Maquinarias y el nodo 4 en la parte exterior del Laboratorio de Redes Eléctricas.

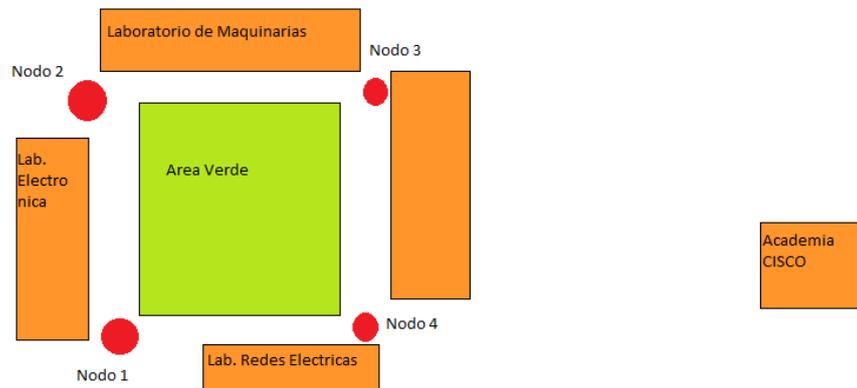


Figura 2.1 ubicación física de los nodos de la subred 1



Figura 2.2 Vista satelital de la ubicación física de los nodos en la subred 1

La subred 2 busca dar cobertura a las áreas que corresponden a los Laboratorios de Computación y dentro del edificio nuevo de la Facultad de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación como se muestra en las figuras 2.3 y 2.4, donde los nodos 1 y 2 se localizan en la parte exterior de laboratorios de la facultad y

parqueadero vehicular de profesores respectivamente, mientras que el nodo 3 se encuentra en la entrada del nuevo edificio y el nodo 4 en el primer piso alto.

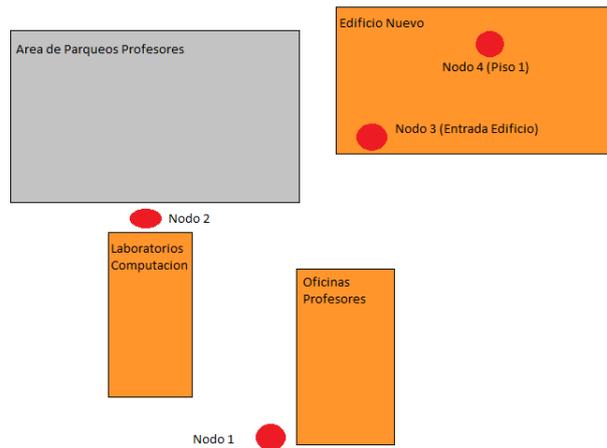


Figura 2.3 ubicación física de los nodos de la subred 2

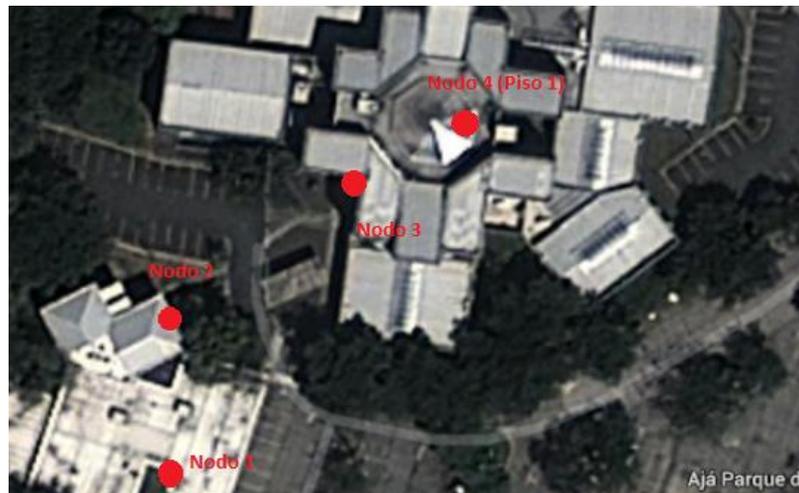


Figura 2.4 Vista satelital de la ubicación física de los nodos en la subred 2

2.3. Esquema del radio enlace

El radio enlace para este estudio busca intercomunicar dos áreas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación. Para realizar la intercomunicación, es necesario definir el lugar donde se ubicarán los equipos de radio, luego de un análisis visual se determinó la utilización de la torre que se encuentra arriba del Laboratorio de Electrónica A, y un mástil ubicado en el techo de los Laboratorios de Computación de la FIEC, lugares que resultan idóneos para la ubicación de los equipos por la ventajosa línea de vista que ofrece y la evasión de factores que puedan causar interferencia en la señal transmitida ya sean estas edificaciones, árboles, entre otros, como se observan en la figuras 2.5 y 2.6, lo que consecuentemente permitirá comunicar las dos subredes que conforman este proyecto.



Figura 2.5 Vista satelital de la ubicación física los equipos conforman el radio enlace



Figura 2.6 Línea de vista del radio enlace

2.4. Tipos de mediciones y pruebas a realizarse

Para medir la calidad de este proyecto se van a realizar pruebas de: ancho de banda, variación de retardo y movilidad. Con estos tres parámetros podremos medir la calidad de servicio que la solución está ofreciendo a los clientes terminales. Adicionalmente, se realizarán pruebas de estrés y saturación con el objetivo de medir el rendimiento del servidor de VoIP.

Las mediciones de ancho de banda, retardo, variación de retardo y movilidad se las realizará efectuando una llamada (en cada una de las dos subredes existentes en la topología) recorriendo el área de cobertura.

Ancho de Banda

El ancho de banda es una medida de los recursos disponibles para la transmisión de datos. Es decir, la cantidad de paquetes que pueden ser enviados a través de la red en cierto periodo de tiempo determinado. Generalmente esta medida viene dada en kilobits por segundo (Kbps). La red de este proyecto será utilizada exclusivamente por el servicio de llamadas de VoIP por lo que todo el

ancho de banda estará a disposición de esta aplicación. En casos de implementaciones reales no necesariamente se tiene una red exclusiva para el servicio de voz, es decir que el ancho de banda es compartido también por otras aplicaciones, en cuyo caso se deberá tomar en cuenta que el servicio de VoIP cuente con el suficiente ancho de banda necesario, lo que podría traer consigo el uso de políticas de calidad de servicio para dar prioridad de conmutación al tráfico de red más sensible. Para calcular el ancho de banda óptimo se debe tener en cuenta ciertos parámetros como tamaño de los paquetes, número de llamadas simultáneas que soporta la red, códec utilizado y protocolos empleados. Mientras más ancho de banda posea una red, mayor será la cantidad de paquetes que se podrá enviar a través de ella, por ende, mayor cantidad de llamadas simultáneas pueden ser efectuadas. Según la UIT, el ancho de banda no puede ser menor a 80 Kbps para una red VoIP, si el ancho de banda es menor, la voz se escuchará alterada. Para realizar las pruebas de ancho de banda realizaremos capturas de los paquetes utilizando el programa Wireshark. Una vez obtenido los datos, estos serán analizados utilizando el programa Cascade Pilot Personal Edition que permite obtener gráficas de la variación del ancho de banda a través del tiempo de la captura.

Retardo

Tiempo que se demora un paquete en llegar a su destino una vez que este fue emitido desde su origen. Algunos parámetros que pueden afectar los tiempos de retardo son el tamaño de los paquetes, distancia entre el emisor y el receptor, número de saltos que tiene que realizar el paquete para llegar a su destino, tiempo que se toman los equipos en procesar los paquetes. Mientras más altos son los valores de retardo en una red que presta servicios de telefonía VoIP, la calidad de la llamada disminuirá. Es muy importante mantener valores muy bajos de retardo en las redes debido a que las llamadas de voz deben efectuarse en tiempo real. La UIT sostiene que los valores de retardo no deben exceder los 150ms., sin embargo, lo ideal sería obtener valores por debajo de los 100ms para una conversación más clara y fluida. Para realizar las pruebas de retardo, se recolectara los paquetes utilizando el programa Wireshark.

Variación de Retardo o “Jitter”

Es la variación del tiempo entre paquetes que arriban a cierto destino en una red. En otras palabras, la variación de retardos que

existe en los paquetes. Según la UIT la variación de retardo en una red VoIP el rango para manejar una comunicación de voz deberá estar por debajo de los 20ms para establecer una comunicación óptima, en caso que la variación de retardo sea mayor a 100 ms, la comunicación será imposible. La variación de retardo ayuda a calcular el tamaño del buffer para las aplicaciones que requieran una entrega constante de paquetes. Esta variación en los retardos es causada principalmente por congestionamientos en la red y puede ser originado tanto en una interfaz del enrutador como en la red en sí. Para medir el la variación de retardo en la llamada de la prueba de movilidad, se utilizará la herramienta Wireshark para recolección de datos y el programa Cascade Pilot Personal Edition que permite generar gráficas de los retardos durante el recorrido de la prueba.

Movilidad

Cuando se habla de movilidad, es referirse al hecho de poder realizar una llamada VoIP por todo el rango de cobertura de la red sin que esta fuese interrumpida. Esta prueba se ejecutará en cada una de las subredes que componen el proyecto. El objetivo de esta prueba es demostrar que sin importar cuál sea el recorrido, siempre y cuando se permanezca dentro del rango de cobertura la llamada no se verá

interrumpida. Los recorridos para la elaboración de esta prueba tendrán lugar, el primero en el área de laboratorios de la FIEC y el segundo desde los laboratorios de computación de la facultad, el parqueadero vehicular de profesores, hasta la planta baja y alta del nuevo edificio como se mostrará en el capítulo cuarto.

CAPÍTULO 3

3. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se detalla la manera en que fueron configurados los equipos para la realización de proyecto, cómo se procedió a realizar el análisis de calidad de servicio y los resultados obtenidos.

3.1. Instalación y configuración de dispositivos

En la implementación de la solución propuesta, es necesario la instalación física estratégica de los equipos para proveer la cobertura deseada, así como la configuración adecuada de los equipos para su correcto funcionamiento a fin de cumplir los objetivos deseados.

Para la configuración de los equipos D-Link Dir 825 se optó por la sustitución del sistema operativo original de fábrica por Openwrt que es una distribución Linux de código abierto, que está orientado principalmente para enrutadores inalámbricos y proporciona más

libertad en cuanto a las configuraciones del equipo se refiere, lo que hizo viable la instalación del software Astartisk para establecer la central telefónica en uno de los equipos. En el proceso de configuración, se debe elegir la versión de firmware que sea compatible con el modelo y hardware del enrutador, razón por la cual se eligió el firmware Openwrt Backfire 10.03.1 cuyos detalles de configuración son citados en el Anexo A.

La solución contempló el uso de las dos bandas de frecuencia con las que trabajan los enrutadores inalámbricos. La banda de 2.4 GHz manejó el tráfico del servicio de VoIP en un esquema de malla con un punto de acceso y repetidores de señal, mientras que la banda de 5 GHz se utilizó para fines de administración de los nodos que conformaron la red implementada, la misma que estuvo bajo el protocolo de enrutamiento OLSR.

En la configuración de las redes en la banda de 2.4 GHz (Anexo B), se definió un nodo como punto de acceso que a su vez operó como único servidor DHCP para todo el segmento de red, mientras que los demás nodos funcionaron en modo repetidor a fin de extender la cobertura de la red y con el objetivo de presentar una única red con el mismo identificador o SSID. En el caso particular de los

enrutadores que trabajaron como repetidores de señal, fue necesario realizar un escaneo de las redes y establecer el dispositivo como cliente de nuestra red y establecer ciertos parámetros e instalación de paquetes para que el dispositivo cliente sea capaz de repetir la señal del enrutador maestro, los detalles de la configuración se encuentran en la Anexo B.

Mientras tanto la red de la banda de frecuencias de 5 GHz se utilizó para fines administrativos bajo el protocolo de enrutamiento OLSR que por sus atributos y características permite mostrar una información integral de la red a fin de tener una mejor administración y una mejor visión topológica de la red, para ello fue necesario la instalación de ciertos paquetes de los repositorios que se encuentran en OPENWRT, cuyo procedimiento de instalación y configuración se encuentran en el Anexo B.

Al existir dos redes en diferentes áreas de la facultad, éstas se interconectaron a través de un radio enlace que estuvo conformado por un enlace punto a punto de aproximadamente 200 a 225 metros y para asegurar su correcta operación fue necesario tener en cuenta ciertos detalles como la ubicación física de estos equipos, para esto ventajosamente la facultad contaba ya con la infraestructura

necesaria para la colocación de los mismos, estos dispositivos se ubicaron, el primero en una torre que se localiza en el área de laboratorios de redes y electrónica de la facultad como se muestra en la figura 3.1, y el otro en un mástil que se encuentra en el área de los laboratorios de computación como se muestra en la figura 3.2



Figura 3.1 Torre



Figura 3.2 Mástil

Las ventajas ofrecidas por estas ubicaciones resultaron inmejorables para la implementación del radio enlace debido a la altura a la que fueron colocados los dispositivos de comunicación, evitando así los árboles y consiguiendo una línea de vista directa entre estos dos puntos como se muestra en la figura 3.3, para una transmisión de señal sin interferencias. Los equipos que fueron utilizados para la interconexión del radio enlace fueron unos Ubiquiti Nanostation Loco M2 que cuentan con una antena integrada que opera en la banda de frecuencias de 2.4 GHz, cuyos detalles de configuración se encuentran en el Anexo C.



Figura 3.3 Línea de vista mástil - torre

La instancia final de las configuraciones de los dispositivos culminó con la designación de un enrutador inalámbrico para su posterior configuración como servidor de VoIP, esto se logró mediante la instalación de Asterisk que es un software libre que posee funcionalidades de una central telefónica. Debido a que el espacio en memoria interna del enrutador es insuficiente para la instalación de Asterisk, se requirió extender la memoria del dispositivo con la adaptación de una memoria USB a fin de permitir la instalación de los paquetes necesarios y sus respectivas dependencias.

Gracias a la flexibilidad de personalización proporcionada por el sistema operativo Openwrt, se pudo lograr el reconocimiento de la memoria USB como si éste hubiese formado parte del almacenamiento propio del enrutador, para ello se montó el sistema de archivos en la memoria USB, de forma que al arrancar el sistema lo haga desde la memoria externa.

Los detalles de la instalación se encuentran en el anexo B, luego de realizar este procedimiento se pudo verificar el nuevo espacio de almacenamiento que poseía el enrutador como se ilustra en la figura 3.4.

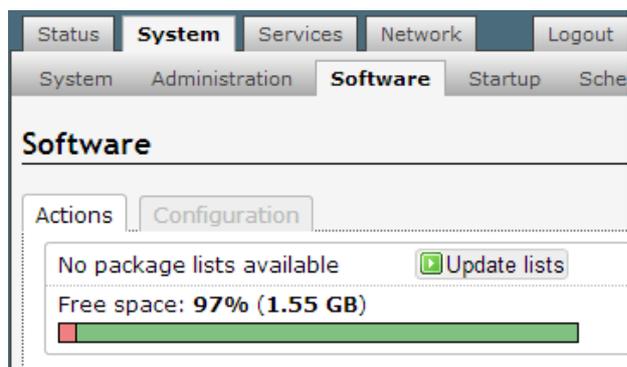


Figura 3.4 Espacio en memoria del enrutador inalámbrico

Con el espacio necesario para la instalación de Asterisk, la descarga de paquetes se hizo necesaria para el funcionamiento de la central telefónica. Asterisk requirió la configuración de ciertos ficheros básicos a fin de poder efectuar las llamadas como `asterisk.conf`, `extensions.conf` y `sip.conf` localizados en el directorio `/etc/asterisk`. Los ficheros se encuentran en el anexo E.

`Asterisk.conf` es un fichero que permite configurar generalmente la ubicación de directorios de configuraciones, módulos compilados, registros, etc.

`Extensions.conf` es uno de los ficheros más importantes que ayuda a definir el comportamiento que va a tener la central telefónica, es decir como son atendidas y procesadas las llamadas entrantes y salientes.

Sip.conf es el fichero donde se configuran los clientes SIP que se conectarán a la central telefónica.

Las tablas siguientes muestran las direcciones IP que fueron asignadas a los diferentes equipos:

Tabla 3.1 Direcciones IP enrutadores del área 1

Enrutadores Inalámbricos Área 1					
Identificador	Red 2.4 GHz		Red 5 GHz		Wan
	IP	Gateway	IP	Gateway	IP
Nodo 1-1	192.168.1.1	192.168.1.1	10.1.1.1	10.1.1.1	192.168.10.1
Nodo 1-2	192.168.1.2	192.168.1.1	10.1.1.2	10.1.1.1	N/A
Nodo 1-3	192.168.1.3	192.168.1.1	10.1.1.3	10.1.1.1	N/A
Nodo 1-4	192.168.1.4	192.168.1.1	10.1.1.4	10.1.1.1	N/A

Tabla 3.2 Direcciones IP enrutadores del área 2

Enrutadores Inalámbricos Área 2					
Identificador	Red 2.4 GHz		Red 5 GHz		Wan
	IP	Gateway	IP	Gateway	IP
Nodo 2-1	192.168.2.1	192.168.1.1	10.1.2.1	10.1.2.1	192.168.10.2
Nodo 2-2	192.168.2.2	192.168.1.1	10.1.2.2	10.1.2.1	N/A
Nodo 2-3	192.168.2.3	192.168.1.1	10.1.2.3	10.1.2.1	N/A
Nodo 2-4	192.168.2.4	192.168.1.1	10.1.2.4	10.1.2.1	N/A

Tabla 3.3 Direcciones IP radios Ubiquiti

Radios Ubiquiti Nano Station Loco M2	
Identificador	IP
Radio A1	192.168.10.100
Radio A2	192.168.10.99

Los equipos que formaron parte de la red fueron computadoras portátiles y dispositivos inteligentes, los cuales obtuvieron direcciones IP dinámicas asignadas por el enrutador de la red en que se situaron, no obstante para la realización de llamadas fue necesario la descarga de un software que permita registrar las extensiones telefónicas para en su defecto efectuar las llamadas a los demás usuarios de la central telefónica. Los detalles de la configuración de software se encuentran en el anexo F.

3.2. Verificación del funcionamiento adecuado de la red

Luego de haber colocado los enrutadores en los lugares designados se verificó en primera instancia la publicación de un solo identificador de red inalámbrica o SSID y posteriormente se conectó un dispositivo a la red para comprobar la asignación de una dirección IP dentro de los rangos que se establecieron en el enrutador, esta verificación se realizó en el área de cobertura de las redes.

Con los dispositivos inteligentes de usuarios finales se comprobó que el software o aplicación de teléfono VoIP pudo conseguir un registro exitoso con el usuario respectivo a la central telefónica, esta verificación se realizó en las dos áreas donde se encuentran las

redes, principalmente en el área de los laboratorios de computación de la facultad de forma que se comprobó la interconectividad de las redes.

3.3. Pruebas de conectividad entre las redes tipo malla interconectadas

La principal forma mediante la cual se pudo probar conectividad en las redes interconectadas fue mediante el uso del comando ping desde la terminal propia del enrutador inalámbrico o desde una computadora portátil conectada a la red para verificar si las direcciones IP eran alcanzables, manera por la cual se pudo comprobar también si las rutas de direcciones estaban siendo publicadas correctamente por los protocolos de red. Este tipo de pruebas ayudaron eventualmente a detectar si existía o no la intromisión de un cortafuegos que pudiera estar bloqueando el tráfico de red o parte de él.

De manera más precisa se pudo ver las tablas de enrutamiento (Figura 3.5) de cada enrutador ingresando por vía Telnet o SSH, mediante la introducción del comando *route -n* que permitió mostrar toda la información sobre las rutas aprendidas por el dispositivo.

```

root@OpenWrt:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
10.1.1.4         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      1     0      0 wlan1
10.1.1.3         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      1     0      0 wlan1
10.1.1.2         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      1     0      0 wlan1
10.1.1.2         10.1.1.4        255.255.255.255 UGH     2     0      0 wlan1
192.168.1.0     0.0.0.0         255.255.255.0  U      0     0      0 br-lan
192.168.0.0     0.0.0.0         255.255.255.0  U      0     0      0 wlan0
10.1.1.0        0.0.0.0         255.255.255.0  U      0     0      0 wlan1
192.168.10.0   0.0.0.0         255.255.255.0  U      0     0      0 eth1
10.1.2.0        192.168.10.2   255.255.255.0  UG     0     0      0 eth1
0.0.0.0         10.1.1.1        0.0.0.0         UG     0     0      0 wlan1
0.0.0.0         192.168.0.1    0.0.0.0         UG     0     0      0 wlan0

```

Figura 3.5 Tabla de enrutamiento

Debido a que los enrutadores operaron con el protocolo OLSR en la banda de 5 GHz, se pudo observar por vía web para un mayor análisis ciertos parámetros que permitieron indicar la calidad de los enlaces en las adyacencias formadas con los enrutadores vecinos como se muestra en la figura 3.6. LQ (Link Quality) o calidad del enlace que indica el estado del enlace, NLQ (Neighbor Link Quality) o estado del enlace vecino que muestra la calidad del enlace de un vecino determinado y ETX (Expected Transmission Count) o conteo de transmisión esperada, que es la métrica que busca definir el número de retransmisiones necesarias para él envío de un paquete de manera exitosa. Los valores de la métrica van de uno al infinito, donde uno indica la calidad máxima de un enlace e infinito indica enlace caído.

Figura 3.6 Tabla de adyacencias con vecinos y calidad de los enlaces

Neighbour IP	Hostname	Local interface IP	Device	LQ	NLQ	ETX
10.1.1.4		10.1.1.1	OLSR	1.000	1.000	1.000
10.1.1.2		10.1.1.1	OLSR	1.000	1.000	1.000
10.1.1.3		10.1.1.1	OLSR	1.000	1.000	1.000

3.4. Pruebas de alcance y calidad de servicio

Las pruebas de alcance y de calidad de servicio nos permitieron comprobar que el proyecto realizado cumplió con los parámetros especificados por la UIT y así medir la factibilidad de la implementación de este proyecto.

Para las pruebas de calidad y alcance se realizaron los siguientes recorridos:

El primer recorrido (figura 3.7) lo empezó fuera de las copadoras ubicadas al lado de los Laboratorios de Electrónica en la FIEC, luego nos dirigimos hacia las afueras del Laboratorio de Maquinaria para seguir nuestro camino hacia el césped detrás del Laboratorio de Maquinarias hasta llegar al límite del parqueadero vehicular de profesores de la facultad y finalmente nos dirigimos hacia las oficinas de Cisco. Este recorrido duró 438 segundos.

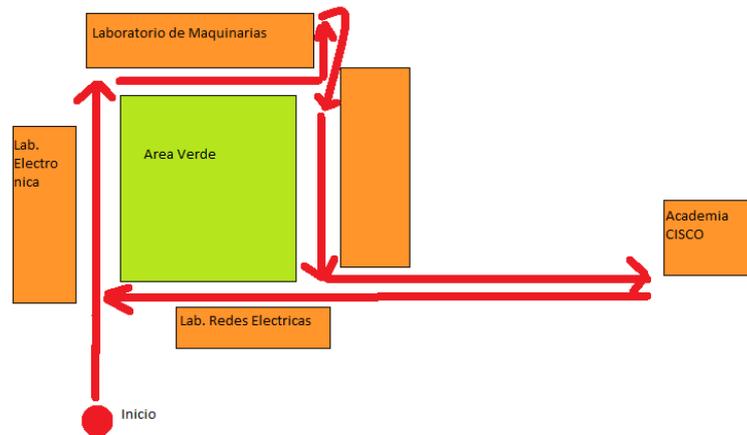


Figura 3.7 Recorrido 1

El segundo recorrido (figura 3.8) inició fuera de las oficinas de profesores que se encuentra frente a los Laboratorios de Computación de la FIEC, el recorrido se extendió hacia el área del parqueadero vehicular de profesores que se encuentra afuera del edificio nuevo de la FIEC. Finalmente ingresamos al nuevo edificio, subimos las escaleras hasta la planta alta. El recorrido tuvo una duración de 254 segundos.

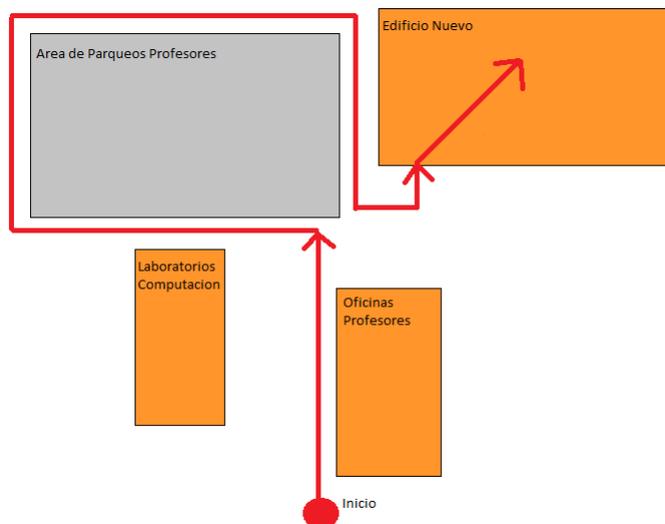


Figura 3.8 Recorrido 2

En ninguno de los recorridos se sufrió la interrupción de la llamada entre los dos cliente al momento de realizar la prueba. Esto comprobó que se puede tener una comunicación por voz por cualquier zona de cobertura de la red sin que la llamada se corte y tener que volver a establecer una nueva llamada para continuar con la conversación.

Durante el primer recorrido se pudo percibir una ligera pérdida de la voz de aproximadamente 2 segundos durante la ejecución de la llamada, esto se debió al cambio de conexión de un enrutador a otro que efectuó el dispositivo móvil al realizar el recorrido, si bien la comunicación no se interrumpió este suceso generó cierta percepción de voz robótica, mientras que durante el segundo

recorrido ésta percepción durante el cambio de conexión de un enrutador inalámbrico a otro fue menos evidente e incluso nula en algunas ocasiones.

Prueba de Ancho de Banda

En la siguiente figura se muestra gráficamente (figura 3.9) la variación del ancho de banda a través del tiempo durante el recorrido 1:



Figura 3.9 Gráfica de variación de ancho de banda del recorrido 1

El ancho de banda máximo durante el recorrido fue de 351.26 Kbps, el ancho de banda mínimo de 7.23 Kbps. El recorrido tuvo un promedio de 157.1 Kbps.

Como muestra la gráfica (figura 3.10) de la variación del ancho de banda a través del tiempo durante el recorrido 2:



Figura 3.10 Gráfica de variación de ancho de banda del recorrido 2

El ancho de banda máximo durante este recorrido fue de 187.84 Kbps mientras el mínimo de 76.19 Kbps. El ancho de banda promedio durante este recorrido fue de 173.73 Kbps. La UIT específica que el ancho de banda mínimo permitido en un sistema de nuestras características es de 80 Kbps. El ancho de banda promedio durante los dos recorridos (157.1 Kbps y 173.73 Kbps respectivamente) superaron ampliamente el mínimo permitido por la UIT.

En el primer recorrido según la figura 3.9 se pudo evidenciar picos (tanto altos como bajos) de ancho de banda seguramente por el entorno en el que se realizó el mismo, es decir menos zonas abiertas, mayor cantidad de obstáculos y acondicionadores de aire. Mientras que en el segundo recorrido al haber tenido menor cantidad de obstáculos y zonas más despejadas el rendimiento de la conexión pudo gozar de un ancho de banda más estable.

Pruebas de Variación de Retardo

En la gráfica (figura 3.11) de la variación del retardo con respecto al tiempo durante el recorrido 1:



Figura 3.11 Gráfica de jitter o variación de retardo del recorrido 1

La variación de retardo máximo que se experimentó durante el recorrido fue de 443.10ms, y su valor mínimo fue de 904.82us y el valor promedio de 13.1ms.

Como se evidenció la gráfica (figura 3.12) con la variación del retardo a través del tiempo durante el recorrido 2:



Figura 3.11 Gráfica de jitter o variación de retardo del recorrido 2

La variación de retardo máximo durante el recorrido tuvo un valor de 15.78ms, el, mínimo de 3.20ms y el recorrido tuvo un promedio de 7.36ms.

La UIT establece que la variación de retardo en una red VoIP no debe de ser mayor a 20ms. En ambos recorridos la variación de retardo promedio no sobrepasó ese valor (13.1ms y 7.36ms). Durante el primer recorrido según la figura 3.11 se evidenció un pico en la variación de retardo de 443.10ms cuyo valor resultó relativamente elevado con respecto a los demás valores de la gráfica. Sin embargo, el resto del tiempo la variación de retardo se mantuvo notoriamente bajo y estable, frente a este comportamiento se consideramos ese pico como un valor aberrante. En el segundo recorrido la variación de retardo se mantuvo relativamente bajo, en niveles normales permisibles por la UIT, y nuevamente en comparación, el segundo recorrido mostró un mejor desempeño en cuanto a la variación del retardo se refiere.

Pruebas de Retardo

La siguiente figura muestra la variación del retardo con respecto al tiempo en el recorrido 1:

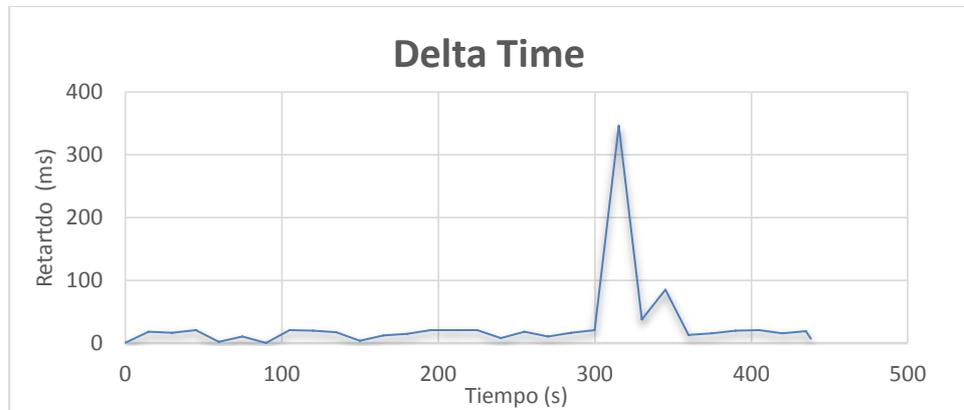


Figura 3.12 Gráfica de retardo del recorrido 1

En este recorrido se registró un retardo máximo de 346.18 ms, mientras el retardo mínimo obtenido fue de 0.67 ms. Se obtuvo un valor de 28.83 ms de retardo promedio durante el recorrido.

Como muestra el gráfico de la variación del retardo en función del tiempo en el recorrido 2

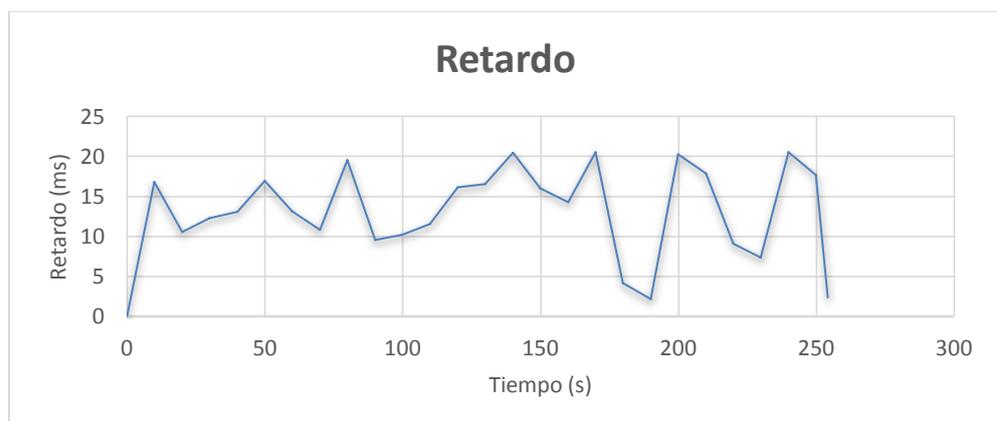


Figura 3.13 Gráfica de retardo del recorrido 2

Durante el recorrido se obtuvo un retardo máximo de 20.52 ms. El valor mínimo obtenido fue de 2.37 ms. El retardo promedio durante el recorrido fue de 13.46 ms.

Como se apreció en las gráficas, durante el recorrido 1 se obtuvo un pequeño lapso de tiempo donde la comunicación sufrió algunas imperfecciones, como consecuencia se obtuvo un pico de 346.18 ms de retardo. En el resto del recorrido los valores de retardo fueron bastante bajos. En el recorrido 2 no se experimentó incrementos exagerados en el retardo, durante este recorrido los valores permanecieron más constantes en comparación con el recorrido 1. El promedio de retardo obtenido de los dos recorridos es mucho menor a los 150 ms permitidos por la UIT.

Resultados

Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de calidad de servicio y movilidad fueron satisfactorios. En los dos recorridos se obtuvieron valores aceptables de variación de retardo, retardo y ancho de banda.

En el recorrido 1 se obtuvo un pequeño pico de variación de retardo y retardo debido a la demora del dispositivo cliente en realizar el cambio de enrutador utilizado para la conexión con la red del sistema. Estos cambios de enrutador se realizaron debido a que el dispositivo salía de la zona de cobertura del equipo enrutador y entraba a la zona de cobertura del otro enrutador. Así mismo, debido a este fenómeno, el ancho de banda en ese periodo de tiempo fue muy cercano a cero como se lo pudo apreciar en la gráfica anterior. Durante el resto del recorrido no se apreció esta demora en el cambio de enrutador y los valores medidos estuvieron dentro de los rangos esperados. En el recorrido 2 los valores resultaron mucho más constantes a lo largo del recorrido. No se evidenciaron picos tan extremos como en el caso del recorrido anterior. Así como en el caso del recorrido 1, los valores de variación de retardo, retardo y ancho de banda estuvieron dentro del rango permitido por la UIT.

Durante la prueba de movilidad, no se registró interrupciones durante las llamadas de prueba. Incluso en el momento donde se registró la tardanza en el cambio de enrutador por parte del dispositivo cliente la llamada se mantuvo sin llegar a interrumpirse ni tener que volver a realizar otra llamada para continuar con la comunicación.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para las pruebas de estrés y saturación se efectuó un alto número de llamadas, por lo que fue necesaria la instalación en una computadora portátil del software SIPp que permite simular un flujo de llamadas hacia el servidor VoIP a través de la configuración de ciertos parámetros como el tiempo entre llamadas, el número total de llamadas y el número total de llamadas concurrentes, esto se logró mediante la utilización de escenarios, los cuales pueden ser preestablecidos o personalizados a fin de simular el comportamiento de una llamada. El escenario que se utilizó se encuentra en el Anexo G

4.1. Prueba de Saturación

La prueba de saturación tuvo como objetivo tratar de colapsar el servidor realizando la mayor cantidad de llamadas posibles en un determinado tiempo. Esta prueba nos permitió determinar el número máximo de llamadas que se pudieron realizar sin que el servidor deje de funcionar. Ésta prueba se la realizó utilizando una computadora portátil. Dentro del computador se crearon máquinas virtuales y se instaló el programa SIPp en cada una de ellas para así poder realizar las llamadas desde las dos máquinas.

4.2. Prueba de Estrés

Con la prueba de estrés se pudo conocer la capacidad que tiene el servidor inalámbrico para soportar llamadas simultáneas y medir así su rendimiento en situaciones extremas (en este caso un gran número de llamadas simultáneas). Para realizar la prueba de estrés, se utilizó el programa SIPp en un cliente (computadora portátil) para que este pueda simular múltiples llamadas hacia el servidor, su configuración requirió principalmente la utilización de un escenario pre configurado que se encuentra en el Anexo G. El número total de

pruebas se lo consiguió aplicando la formula estadística del tamaño de una muestra con un intervalo de confianza del 95%. Este cálculo se lo explica en forma detallada en el Anexo H.

Adicionalmente, se utilizó el programa SAR a fin de poder visualizar el rendimiento del servidor antes y durante las pruebas. El programa SAR (System Activity Report) o Reporte de Actividad del Sistema, está diseñado para mostrar en tiempo real el rendimiento del equipo donde se encuentra instalado como el porcentaje de utilización del CPU que esté siendo utilizado por el dispositivo, éste programa debió ser instalado en el enrutador que hace las veces de servidor de VoIP

4.3. Reporte de Prueba de Saturación

El rango de tiempo seleccionado para esta prueba fue de 2000 ms. Cada vez se fue aumentando el número de llamadas que se realizaron durante los 2 segundos hasta que el servidor no pueda aguantar la carga y colapse. Se realizaron llamadas desde 2 clientes simultáneamente, para colapsar el servidor, fueron necesarias 14 pruebas de 6000 llamadas cada una. En cada una de las pruebas se realizaron 1500 llamadas concurrentes en un lapso de 2 segundos. A

continuación se muestra los resultados de las 14 pruebas en cada uno de los clientes:

=====		Prueba 1	=====	
Successful call		0		115
Failed call		0		5885
=====		Prueba 2	=====	
Successful call		0		43
Failed call		0		5957
=====		Prueba 3	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 4	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 5	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 6	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 7	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 8	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 9	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 10	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 11	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 12	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 13	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000
=====		Prueba 14	=====	
Successful call		0		0
Failed call		0		6000

Figura 4.1 Resultados de las pruebas desde el cliente 1

===== Prueba 1 =====			
Successful call		0	68
Failed call		0	5932
===== Prueba 2 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 3 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 4 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 5 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 6 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 7 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 8 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 9 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 10 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 11 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 12 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 13 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 14 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000

Figura 4.2 Resultados de las pruebas desde el cliente 2

Podemos observar en las figuras anteriores que solo durante las primeras 2 pruebas se registró un cierto número de llamadas exitosas, a partir de la prueba 3, todas las llamadas resultaron fallidas puesto que el servidor colapsó.

4.4. Reporte de Prueba de Estrés

Se efectuaron un total de 264 pruebas en cada una de las subredes. La mitad de éstas fueron configuradas para que se soporte 25 llamadas concurrentes y la otra mitad se configuró para soportar 50 llamadas concurrentes. Las pruebas se configuraron con un total de 200 llamadas a un intervalo de 2 segundos entre llamadas, como se observa el detalle en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Detalle de la Prueba de Estrés

Número de pruebas	Máximo total de llamadas	Intervalo entre llamadas (segundos)	Llamadas concurrentes
132	200	2	25
132	200	2	50
132	200	2	25
132	200	2	50

Las siguientes tablas permiten evidenciar los resultados de las pruebas que se realizaron en la subred ubicada en el sector de los Laboratorios de Electrónica y Redes Eléctricas.

Tabla 4.2 Reporte Prueba 1 a 25 llamadas concurrentes

Llamadas Concurrentes	25
Número Total de Llamadas Exitosas	13491
Número Total de Llamadas Fallidas	12909
Porcentaje de Llamadas Exitosas	51.10%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	48.90%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	143
Menor número de llamadas exitosas en una prueba	75
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	71.50%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	37.50%

Tabla 4.3 Reporte Prueba 2 a 50 llamadas concurrentes

Llamadas Concurrentes	50
Número Total de Llamadas Exitosas	12310
Número Total de Llamadas Fallidas	14197
Porcentaje de Llamadas Exitosas	46.63%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	53.57%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	167
Menor número de llamadas exitosas en una prueba	31
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	83.50%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	15.50%

Las siguientes tablas muestran los resultados de las pruebas que se realizaron en la subred ubicada en el sector del edificio nuevo de la FIEC.

Tabla 4.3 Reporte Prueba 1 a 50 llamadas concurrentes

Llamadas Concurrentes	25
Número Total de Llamadas Exitosas	14582
Número Total de Llamadas Fallidas	11818
Porcentaje de Llamadas Exitosas	55.24%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	44.76%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	159
Menor número de llamadas exitosas en una prueba	75
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	79.50%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	37.50%

Tabla 4.4 Reporte Prueba 2 a 50 llamadas concurrentes

Llamadas Concurrentes	50
Número Total de Llamadas Exitosas	13654
Número Total de Llamadas Fallidas	12764
Porcentaje de Llamadas Exitosas	51.72%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	48.28%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	164
Menor número de llamadas exitosas en una prueba	50
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	82.00%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	25.00%

Con la ayuda del comando SAR, se pudo obtener el rendimiento del servidor de VoIP antes del momento de las pruebas de estrés y durante las dos diferentes pruebas realizadas. Como pudimos observar el resultado del rendimiento del servidor en los diferentes momentos fueron:

Antes

	CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
11:08:26	all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
11:08:27	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:28	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:29	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:30	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:31	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:32	all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
11:08:33	all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
11:08:34	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:35	all	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	96.00
11:08:36	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:37	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:38	all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
11:08:39	all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
11:08:40	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:41	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:42	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:43	all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
11:08:44	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:45	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:46	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
Average:	all	0.40	0.00	1.10	0.00	0.00	98.50

Figura 4.3 Resultado comando SAR antes de iniciar pruebas

Como se puede evidenciar en el figura anterior, el CPU del servidor se encontró entre un 96% y 99% inutilizable antes de empezar a realizar las pruebas, así mismo, el porcentaje de CPU utilizado por el sistema se situó en un rango del 0% al 2%. El CPU utilizado por aplicaciones de usuarios se mantuvo dentro del rango de 0% al 2% antes de la realización de las pruebas respectivas.

Prueba con 25 llamadas concurrentes

	CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
11:33:12	all	33.00	0.00	44.00	0.00	0.00	23.00
11:33:13	all	22.00	0.00	71.00	0.00	0.00	7.00
11:33:14	all	33.00	0.00	52.00	0.00	0.00	15.00
11:33:15	all	29.00	0.00	61.00	0.00	0.00	10.00
11:33:16	all	38.00	0.00	50.00	0.00	0.00	12.00
11:33:17	all	34.00	0.00	57.00	0.00	0.00	9.00
11:33:18	all	30.00	0.00	48.00	0.00	0.00	22.00
11:33:19	all	32.00	0.00	45.00	0.00	0.00	23.00
11:33:20	all	32.00	0.00	51.00	0.00	0.00	17.00
11:33:21	all	56.00	0.00	35.00	0.00	0.00	9.00
11:33:22	all	50.00	0.00	36.00	0.00	0.00	14.00
11:33:23	all	47.00	0.00	46.00	0.00	0.00	7.00
11:33:24	all	45.00	0.00	41.00	0.00	0.00	14.00
11:33:25	all	46.00	0.00	29.00	0.00	0.00	25.00
11:33:26	all	35.00	0.00	27.00	0.00	0.00	38.00
11:33:27	all	19.00	0.00	26.00	0.00	0.00	55.00
11:33:28	all	19.00	0.00	21.00	0.00	0.00	60.00
11:33:29	all	12.00	0.00	24.00	0.00	0.00	64.00
11:33:30	all	15.00	0.00	13.00	0.00	0.00	72.00
11:33:31	all	18.00	0.00	16.00	0.00	0.00	66.00
11:33:32	all	32.25	0.00	39.65	0.00	0.00	28.10
Average:	all	32.25	0.00	39.65	0.00	0.00	28.10

Figura 4.4 Salida comando SAR durante prueba de 25 llamadas concurrentes

Durante la primera prueba realizada el servidor de VoIP empezó a utilizar más recursos y su porcentaje de CPU inutilizado disminuyó, estableciéndose dentro de un rango de uso del 7% al 72%. El porcentaje de CPU utilizado por el sistema aumentó, ubicándose dentro un rango de 13% al 71%. El porcentaje de CPU utilizado por aplicaciones de usuarios se situó dentro del rango del 12% al 56%.

Prueba con 50 llamadas concurrentes

	CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
11:36:34	all	32.00	0.00	21.00	0.00	0.00	47.00
11:36:35	all	44.00	0.00	35.00	0.00	0.00	21.00
11:36:36	all	68.00	0.00	32.00	0.00	0.00	0.00
11:36:37	all	45.00	0.00	36.00	0.00	0.00	19.00
11:36:38	all	48.00	0.00	33.00	0.00	0.00	19.00
11:36:39	all	36.63	0.00	33.66	0.00	0.00	29.70
11:36:40	all	34.00	0.00	29.00	0.00	0.00	37.00
11:36:41	all	28.00	0.00	22.00	0.00	0.00	50.00
11:36:42	all	51.00	0.00	36.00	0.00	0.00	13.00
11:36:43	all	60.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00
11:36:44	all	63.00	0.00	37.00	0.00	0.00	0.00
11:36:45	all	47.00	0.00	35.00	0.00	0.00	18.00
11:36:46	all	21.00	0.00	24.00	0.00	0.00	55.00
11:36:47	all	32.00	0.00	17.00	0.00	0.00	51.00
11:36:48	all	20.00	0.00	25.00	0.00	0.00	55.00
11:36:49	all	9.00	0.00	24.00	0.00	0.00	67.00
11:36:50	all	20.00	0.00	12.00	0.00	0.00	68.00
11:36:51	all	15.00	0.00	10.00	0.00	0.00	75.00
11:36:52	all	9.00	0.00	4.00	0.00	0.00	87.00
11:36:53	all	7.00	0.00	4.00	0.00	0.00	89.00
11:36:54	all	34.48	0.00	25.49	0.00	0.00	40.03
Average:	all						

Figura 4.5 Salida comando SAR durante prueba de 50 llamadas concurrentes

Al realizar la segunda prueba, el servidor redujo nuevamente el porcentaje de CPU inutilizado, éste porcentaje se mantuvo dentro del rango de 0% al 89%. El CPU utilizado por el sistema se mantuvo dentro del rango de 4% al 40%. Finalmente, el porcentaje de CPU utilizado por aplicaciones de los usuarios estuvo dentro del rango de 9% al 68% durante el tiempo que se realizaron las pruebas.

4.5. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos durante las diferentes pruebas realizadas fueron satisfactorios. Al someter al servidor en situaciones extremas durante la prueba de estrés, el servidor pudo procesar cerca del 50% de las llamadas en promedio. En situaciones reales, el tráfico será mucho menor al enviado durante la prueba. El servidor no debería tener problemas procesando la cantidad de llamadas que se realizarían en el día a día dentro de la FIEC.

Se tuvo que realizar 1500 llamadas en un lapso de 2 segundos para lograr colapsar el servidor logrando así que éste dejara de funcionar. Dentro de la FIEC no se maneja ese número de llamadas por lo cual podemos sugerir que el servidor podría procesar el tráfico de llamadas dentro de la facultad sin llegar al colapso. En las pruebas de calidad de servicio, se comprobó que los valores de variación de retardo, ancho de banda y retardo se situaron dentro de los rangos sugeridos por la UIT asegurando de ésta forma una comunicación clara, fluida y sin interrupciones.

Conclusiones y Recomendaciones

Luego de observar los resultados de las pruebas del servidor de VoIP podemos concluir lo siguiente:

1. Como se puede constatar en el capítulo 2, se pudo realizar el diseño de 2 redes tipo malla para interconectar diferentes edificios de la facultad.
2. Como se puede apreciar en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el capítulo 4, el servicio de VoIP fue sometido satisfactoriamente a pruebas de estrés y saturación dando como resultados valores de retardo, variaciones de retardo, anchos de banda dentro de los rangos establecidos y recomendados por la UIT para una comunicación de voz. Con esto, se comprobó que el servicio de VoIP implementado si está preparado para soportar la cantidad de tráfico que se generaría comúnmente en la FIEC tomando en cuenta el número de alumnos dentro de la facultad (alrededor de dos mil estudiantes).

3. Se realizó toda la configuración e implementación necesaria para poder crear el radio enlace que permite comunicar exitosamente las dos redes tipo malla ubicadas en diferentes edificios de la FIEC.

Las recomendaciones sugeridas son las siguientes:

1. Para futuras investigaciones, utilizar una mayor cantidad de enrutadores inalámbricos para cubrir más o diferentes zonas de la facultad. Al momento de realizar las pruebas se encontraron lugares donde la comunicación no era la más óptima por lo que era necesario la reubicación de equipos. Esto sucedía principalmente en zonas donde la extensión de la cobertura de red se veía limitada por la carencia de más equipos a fin de mejorar la cobertura.
2. Podar los árboles que se encuentran dentro de la línea de vista de los radio enlaces. Para obtener línea de vista se tuvo que colocar el equipo de radio en un mástil para que se encuentre a una mayor altura ya que en su ubicación original era imposible obtener línea de vista por el tamaño de los árboles. En futuras

implementaciones realizar la instalación de los equipos de radio será aún más complicado ya que los árboles seguirán creciendo.

3. Mejorar las instalaciones eléctricas dentro del área de laboratorios de electrónica de la FIEC. Al momento de realizar las pruebas de la red en ese sector nos encontramos con varios problemas de conexión de los equipos hacia los tomacorrientes. La mayoría de ellos se encontraba dañados y se tuvo que utilizar varias regletas y extensiones para abastecer de electricidad a los diferentes enrutadores inalámbricos. Al momento de realizar futuras implementaciones en este sector, sin duda este problema será una limitante muy importante por lo cual es indispensable realizar las mejoras respectivas.

ANEXOS

Anexo A

Instalación y Configuración de Openwrt

Descargamos el firmware específico para el modelo del enrutador inalámbrico, en este caso D-Link Dir 825 (<http://downloads.openwrt.org/backfire/10.03.1/ar71xx/>)

Una vez descargado el firmware, procedemos a eliminar el sistema operativo de fábrica del enrutador inalámbrico, según el manual del equipo, esto lo realizamos utilizando la regla de los 30/30/30. Esta regla suele funcionar para muchos modelos de enrutadores inalámbricos, el cual consiste en presionar el botón reset durante 30 segundos mientras está conectado el dispositivo, luego sin dejar de presionar el botón reset desconectar el dispositivo por otros 30 segundos, después conectar nuevamente el equipo sin dejar de presionar el botón reset por unos 30 segundos más. Esto nos asegurará que el dispositivo no posee firmware alguno y está listo para recibir un nuevo firmware.

Para realizar la inserción del nuevo firmware es necesario conectar la PC donde descargamos el nuevo firmware mediante un cable UTP al puerto LAN del enrutador, es necesario que la PC y el enrutador estén dentro del mismo

segmento de red. Para el enrutador del modelo D-Link Dir 825 la dirección IP que posee por defecto después de haber sido removido su firmware es la 192.168.0.1, motivo por el cual la PC debe ser cambiada de dirección IP para que pertenezca al mismo segmento de red del enrutador inalámbrico y poder hacer efectiva la transferencia del nuevo firmware



Una vez hecha la transferencia del nuevo firmware, es necesario esperar por un lapso del 2 a 3 minutos para que su instalación se realice sin problemas, caso contrario el equipo podría quedar inutilizable. El nuevo firmware instalado, ya viene con interfaz web llamada LUCI para una fácil administración, no obstante para poder usar las redes en las bandas de 2.4 y 5 GHz, es necesario activar los radios que operan en estas bandas de frecuencia ingresando al enrutador inalámbrico mediante una conexión telnet o ssh para ingresar el siguiente comando:

```
wifi detect > /etc/config/wireless
```

Luego, abrir el archivo `/etc/config/wireless` y borrar o comentar la línea del fichero:

```
option disabled 1
```

Una vez guardado el archivo, introducir el comando:

```
wifi up
```

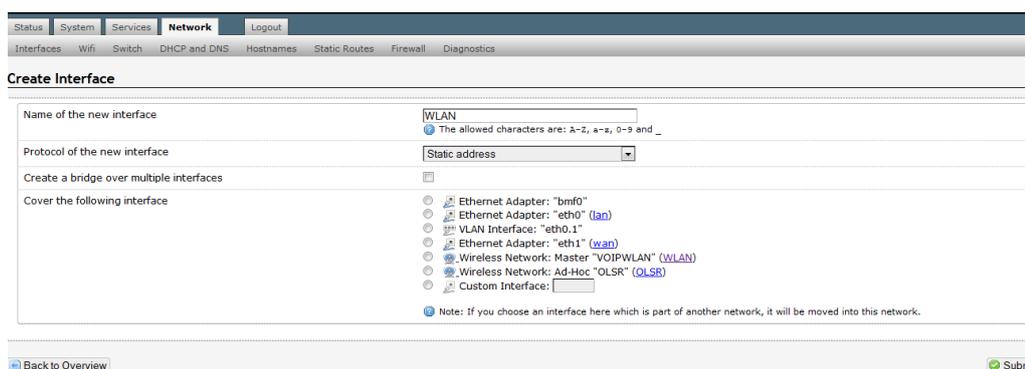
Finalmente realizado estos pasos, las direcciones redes correspondientes a las bandas de 2.4 y 5 GHz pueden ser configuradas por vía web.

Anexo B

Configuración de enrutadores en la banda de 2.4 GHz

Al configurar la red para la banda de 2.4 GHz es necesario definir primeramente que enrutador va a hacer la veces de punto de acceso, una vez definido el dispositivo este debe tener las configuraciones que se detallan a continuación:

La red puede ser configurada por administración web, luego de ingresar al dispositivo dirigirse a Network > Interfaces y elegir crear una nueva interfaz lógica como se muestra en la figura B1, en esa misma pantalla se puede asociar la interfaz lógica a la física, para este caso se elige la primera interfaz física inalámbrica que es la que opera baja la frecuencia de 2.4 GHz.



The screenshot displays the 'Create Interface' configuration window in Mikrotik WinBox. The 'Network' menu is active. The configuration fields are as follows:

- Name of the new interface:** WLAN
- Protocol of the new interface:** Static address
- Create a bridge over multiple interfaces:**
- Cover the following interface:** Wireless Network: Master "VOIPWLAN" (WLAN)

Other options in the 'Cover the following interface' list include Ethernet Adapters (bmf0, eth0 (lan), eth1 (wan)), a VLAN Interface (eth0.1), and a Custom Interface. A note at the bottom states: "Note: If you choose an interface here which is part of another network, it will be moved into this network." Buttons for 'Back to Overview' and 'Submit' are visible at the bottom.

Figura B1

Una vez creada la interfaz lógica, puede ser configurada con los parámetros deseados, dirigiéndose a Network > Interfaces y eligiendo la nueva interfaz lógica creada como se muestra en la figura B2.

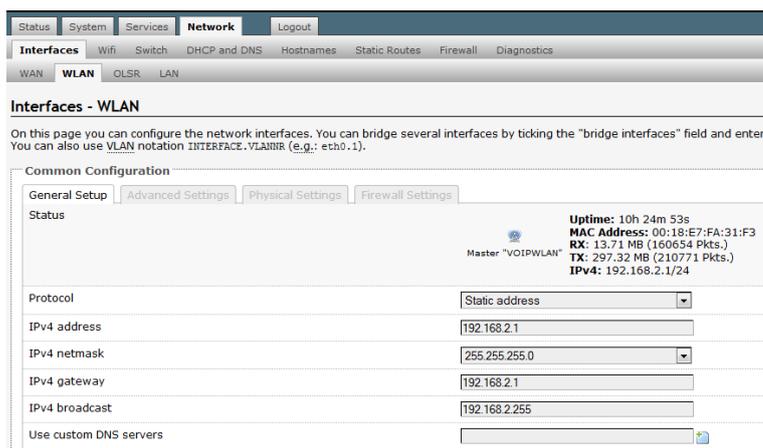


Figura B2

Luego de haber establecido los parámetros de la red en la interfaz lógica, es necesario definir parámetros para la interfaz física del enrutador, dirigiéndose a Network > Wifi > radio 0. Se elige radio 0 debido a que éste trabaja en la frecuencia de 2.4 GHz. En ésta página definimos el canal de frecuencia en el que operara el radio, el nombre de la red inalámbrica con el que se desea publicar la red (SSID) y el modo de operación, que para este caso es Access Point, como en la figura B3

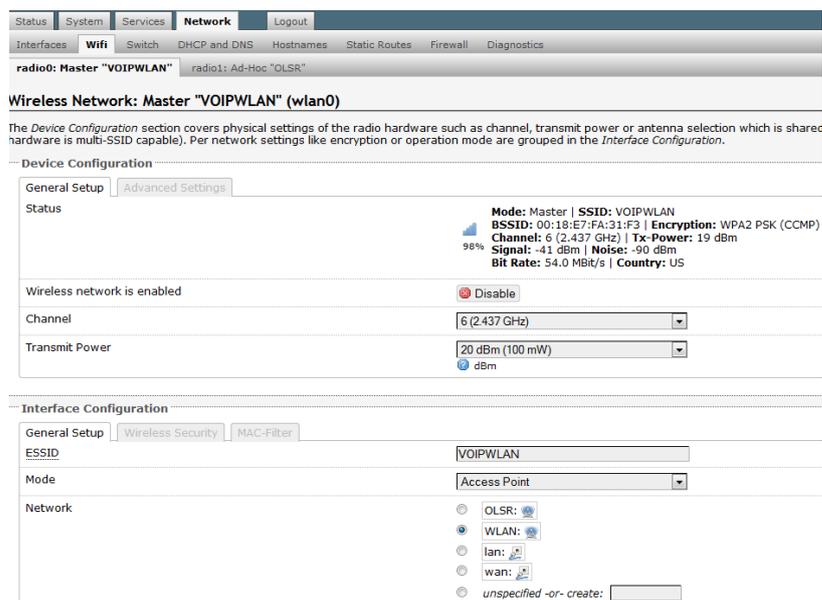


Figura B3

Posteriormente hay que configurar los demás equipos que harán las veces de repetidor de señal, ingresando a los dispositivos por administración web para efectuar los siguientes procedimientos.

Dirigirse a la pestaña Network > Wifi y en la radio 0 realizar un escaneo de señales disponibles y elegimos nuestra señal y presionamos Join Network, al momento de unirse si se ha definido contraseña en el dispositivo maestro, ésta le será solicitada al dispositivo cliente, luego nos será solicitado la creación de una nueva interfaz lógica (WWAN) que estará asociada a la interfaz física como se muestra en la figura B4.

Join Network: Settings

Replace wireless configuration An additional network will be created if you leave this unchecked.

WPA passphrase Specify the secret encryption key here.

Name of the new network: The allowed characters are: A-Z, a-z, 0-9 and _

Create / Assign firewall-zone

lan: lan:

wan: wan:

unspecified -or- create:

Choose the firewall zone you want to assign to this interface. Select *unspecified* to remove the interface from the associated zone or fill out the *create* field to define a new zone and attach the interface to it.

Figura B4

Los enrutadores restantes ahora ya funcionan como clientes del enrutador maestro, pero para que estos dispositivos puedan repetir la señal, es necesario establecer un modo inalámbrico híbrido, es decir como cliente del enrutador maestro y como punto de acceso maestro para los clientes de este nuevo dispositivo.

Para esto es necesario la instalación de un paquete mediante línea de comandos en estos dispositivos clientes

```
opkg update
```

```
opkg install relayd
```

Ahora por administración web podemos añadir una nueva red en la radio 0, que contenga los mismos parámetros de la red original del dispositivo maestro, esto es mismo identificador o SSID, misma contraseña, mismo

canal y mismo modo de operación (Access Point), también es necesario crear una nueva interfaz lógica (WLAN) en el mismo segmento de red del dispositivo maestro y deshabilitado el servicio de DHCP por lo que solo se usará el del enrutador maestro, ésta nueva interfaz debe ser enlazada a este nuevo modo de interfaz física.

Con el paquete relayd ya instalado, ingresar vía telnet o ssh al dispositivo que se está configurando y editar el archivo /etc/config/network y agregar las siguientes líneas y guardar

```
config 'interface' 'STABRIDGE'  
    option 'proto' 'relay'  
    option 'network' 'WLAN WWAN'
```

WLAN obedece a nuestra interfaz de red que está en modo maestro para este nuevo dispositivo, mientras que WWAN es el nombre de la interfaz que se encuentra en modo cliente.

Las interfaces lógicas deben quedar como se ilustra en la figura B5 y el radio 0 como se ilustra en la figura B6

STABRIDGE  Relay "STABRIDGE"	Uptime: 11h 58m 47s RX: 3.27 MB (18279 Pkts.) TX: 3.65 MB (22868 Pkts.)
WLAN  Master "VOIPWLAN"	Uptime: 11h 58m 47s MAC Address: 00:18:E7:F8:91:2C RX: 1.27 MB (4118 Pkts.) TX: 1.69 MB (8266 Pkts.) IPv4: 192.168.2.2/24
WWAN  Client "VOIPWLAN"	Uptime: 11h 58m 43s MAC Address: 02:18:E7:F8:91:2D RX: 2.00 MB (14161 Pkts.) TX: 1.96 MB (14602 Pkts.) IPv4: 192.168.2.129/24

Figura B5

Status	System	Services	Network	Logout	
Interfaces	Wifi	Switch	DHCP and DNS	Hostnames	Static Routes
radio0: Master "VOIPWLAN" radio0: Client "VOIPWLAN" radio1: Ad-Hoc "OL"					
Wireless Overview					
 Generic 802.11bgn Wireless Controller (radio0) Channel: 6 (2.437 GHz) Bitrate: ? Mb/s					
 SSID: VOIPWLAN Mode: Client 100% BSSID: 00:18:E7:FA:31:F3 Encryption: WPA2 PSK (CCMP)					
 SSID: VOIPWLAN Mode: Master 0% BSSID: 00:18:E7:F8:91:2C Encryption: WPA2 PSK (CCMP)					

Figura B6

Con este procedimiento se logra extender la cobertura de la red, con un mismo identificador o SSID en la banda de frecuencias de 2.4 GHz

Configuración de enrutadores en la banda de 5 GHz

La configuración de esta red, está dada bajo el protocolo OLSR cuyas características lo hacen idóneo para la parte administrativa a fin de tener una mayor visión de la red y de los nodos que la conforman, por lo que es

esencial la instalación de ciertos paquetes a través de línea de comandos para su funcionamiento.

```
opkg update
```

```
opkg install olsrd luci-app-olsr olsrd-mod-txtinfo
```

```
reboot
```

Luego de concluir la instalación y haberse reiniciado el dispositivo, aparecerá una pestaña OLSR en la administración web del dispositivo como se muestra en la figura B7.

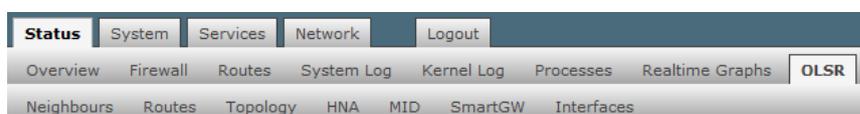


Figura B7

Es necesario repetir el procedimiento de crear una interfaz lógica y asociarla a una interfaz física, teniendo en cuenta de elegir la interfaz correspondiente a la banda de 5 GHz como se muestra en la figura B8.

Create Interface	
Name of the new interface	OLSR <small>The allowed characters are: A-Z, a-z, 0-9 and _</small>
Protocol of the new interface	Static address
Create a bridge over multiple interfaces	<input type="checkbox"/>
Cover the following interface	<input type="radio"/> Ethernet Adapter: "bmf0" <input type="radio"/> Ethernet Adapter: "eth0" (lan) <input type="radio"/> VLAN Interface: "eth0.1" <input type="radio"/> Ethernet Adapter: "eth1" (wan) <input type="radio"/> Wireless Network: Master "VOIPWLAN" (WLAN) <input checked="" type="radio"/> Wireless Network: Ad-Hoc "OLSR" (OLSR) <input type="radio"/> Custom Interface: <input type="text"/>

Figura B8

Debido a las características del protocolo OLSR, es necesario configurar ciertos parámetros en la interfaz física o radio 1, dentro de la administración de esta interfaz podemos definir el identificador o SSID de la red, canal de frecuencias, potencia de transmisión, modo de operación que para la utilización del protocolo es AD-HOC, entre otros, como se muestra en la figura B9

Status	System	Services	Network	Logout
Interfaces: Wifi Switch DHCP and DNS Hostnames Static Routes Firewall Diagnostics				
radio0: Master "VOIPWLAN" radio1: Ad-Hoc "OLSR"				
Wireless Network: Ad-Hoc "OLSR" (wlan1)				
The Device Configuration section covers physical settings of the radio hardware such as channel, transmit power or antenna selection which hardware is multi-SSID capable). Per network settings like encryption or operation mode are grouped in the Interface Configuration.				
Device Configuration				
General Setup		Advanced Settings		
Status	Mode: Ad-Hoc SSID: OLSR BSSID: A6:31:17:5:B4:12:75 Encryption: - Channel: 36 (5.180 GHz) Tx-Power: 13 dBm Signal: -1 dBm Noise: -95 dBm Bit Rate: 6.0 MBit/s Country: US			
Wireless network is enabled	<input type="checkbox"/> Disable			
Channel	auto			
Transmit Power	17 dBm (50 mW)			
	<input type="radio"/> dBm			
Interface Configuration				
General Setup		Wireless Security		
ESSID	OLSR			
Mode	Ad-Hoc			
BSSID	<input type="text"/>			
Network	<input checked="" type="radio"/> OLSR: <input type="text"/> <input type="radio"/> WLAN: <input type="text"/> <input type="radio"/> lan: <input type="text"/> <input type="radio"/> wan: <input type="text"/> <input type="radio"/> unspecified -or- create: <input type="text"/>			

Figura B9

Una vez que las interfaces han sido configuradas, la configuración del protocolo OLSR debe ser añadida. En el menú principal dirigirse a Services > OLSR y en la área de Interfaces añadir una nueva, donde se pueden dejar los valores establecidos por defecto a excepción de Network donde se debe asociar esta nueva interfaz a la red correspondiente a la banda de frecuencias de 5 GHz, para nuestro caso "OLSR" como se ilustra en la figura B10

OLSR Daemon - Interface

The OLSR daemon is an implementation of the Optimized Link State Routing protocol. As such it allows mesh routing for any network on any ethernet device. Visit olsrd.org for help and documentation.

Interface

General Settings | IP Addresses | Timing and Validity

Enable Enable this interface.

Network OLSR:
 WLAN:
 lan:
 wan:

The interface OLSRd should serve.

Mode mesh
 Interface Mode is used to prevent unnecessary "mesh" and "ether". Default is "mesh".

Weight
 When multiple links exist between hosts the weight is automatically calculated by olsrd based on the channel. Olsrd will choose links with the lowest value.
Note: Interface weight is used only when LinkQuality ETX value is used instead.

LinkQuality Multiplier
 Multiply routes with the factor given here. Allow values greater than 0. Examples:
reduce LQ to 192.168.0.1 by half: 192.168.0.1 0.5
reduce LQ to all nodes on this interface by 20%: de

Figura B10

Una vez finalizadas estas configuraciones, los enrutadores podrán trabajar correctamente formando parte de la red.

Anexo C

Configuración de Ubiquiti Nano Station Loco M2

Para la configuración de este dispositivo, si es nuevo hay que acceder al por administración web a la dirección IP por defecto 192.168.1.20 e iniciar sesión con las credenciales que indica el fabricante en el manual o en la web.

La red perteneciente al radio enlace de este proyecto usará otro rango de direcciones IP, razón por el cual se debe realizar el cambio de dirección IP en el equipo en la pestaña Network, no obstante para permitir que el tráfico fluya a través del dispositivo es necesario establecerlo en modo Bridge como se muestra en la figura C1

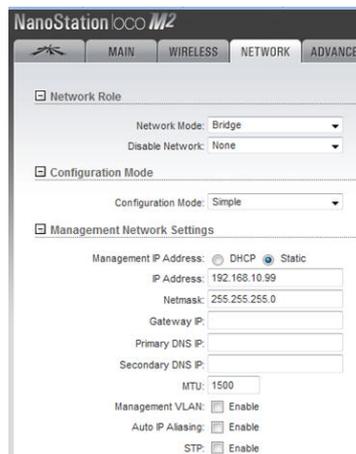
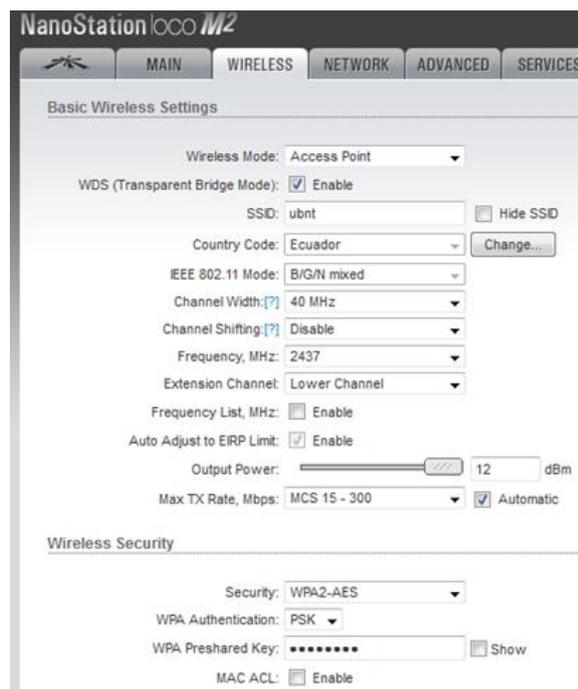


Figura C1

Se recomienda reiniciar el dispositivo y acceder a él con la nueva dirección IP de administración. Para establecer un enlace punto a punto entre ambos dispositivos de comunicación se requiere establecer ciertos parámetros en la pestaña Wireless como, el modo de operación inalámbrica ya este punto de acceso o estación, identificador de red o SSID, estándar de modulación, seguridad, ancho de canal, entre otros como se muestra en la figura C2. Si un dispositivo está en modo punto de acceso el otro debe estar en modo estación.



The image shows the configuration interface for a NanoStation loco M2 device. The interface is divided into several tabs: MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, and SERVICES. The WIRELESS tab is selected, and the 'Basic Wireless Settings' section is visible. The settings are as follows:

- Wireless Mode: Access Point
- WDS (Transparent Bridge Mode): Enable
- SSID: ubnt Hide SSID
- Country Code: Ecuador
- IEEE 802.11 Mode: B/G/N mixed
- Channel Width: 40 MHz
- Channel Shifting: Disable
- Frequency, MHz: 2437
- Extension Channel: Lower Channel
- Frequency List, MHz: Enable
- Auto Adjust to EIRP Limit: Enable
- Output Power: 12 dBm
- Max TX Rate, Mbps: MCS 15 - 300 Automatic

The 'Wireless Security' section is also visible:

- Security: WPA2-AES
- WPA Authentication: PSK
- WPA Preshared Key: [masked]
- MAC ACL: Enable

Figura C2

Al momento de elegir la frecuencia de operación del dispositivo que opera en modo punto de acceso, se puede utilizar una herramienta con la que cuentan

estos dispositivos, en la sección herramientas se puede elegir el AirView Spectrum Analyzer (Figura C3) a fin de observar y determinar con mayor precisión la frecuencia que está siendo menos utilizada o en el peor de los casos la menos saturada.

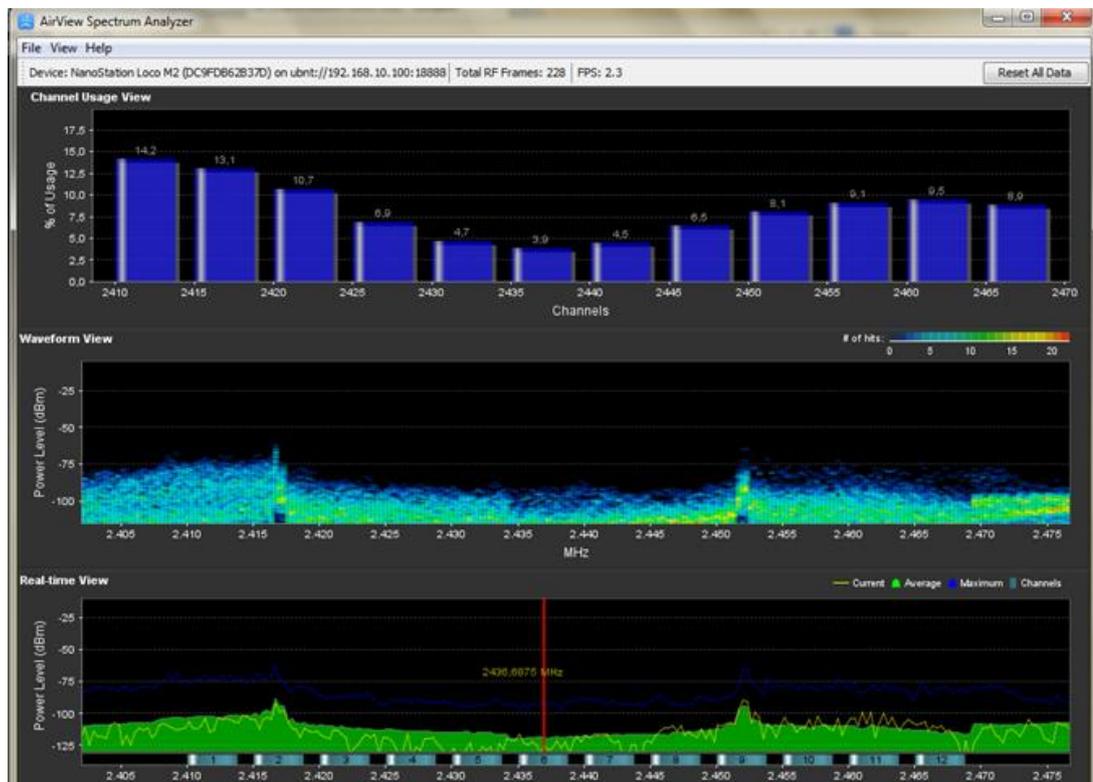


Figura C3

Finalmente, los dispositivos al ser del mismo fabricante se puede aprovechar la utilidad propietaria Airmax de Ubiquiti, que permite mantener estables el ancho de banda, la latencia y si detecta un tráfico de voz o video le dará más

prioridad a dicho tráfico. La activación de ésta utilidad se realiza por administración web como se muestra en la figura C4.

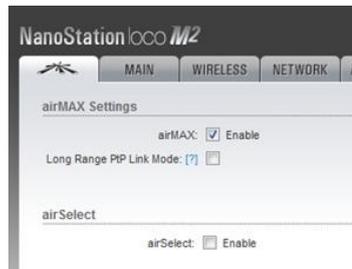


Figura C4

Anexo D

Adaptación de Memoria USB al enrutador inalámbrico

Para el proceso de adaptación de la memoria USB se debe efectuar previamente el cambio del sistema de archivos de la memoria a ext3 con una partición para el swap que sirve para extender la memoria RAM del enrutador en caso de que éste se quede sin ella, ya sea por software o línea de comandos de manera que el enrutador lo reconozca y la partición del sistema pueda ser copiada sobre la memoria externa de forma que el enrutador pueda arrancar desde la memoria USB.

La adaptación de la memoria requiere la instalación de los siguientes paquetes

```
opkg update  
opkg install block-mount cfdisk  
opkg install kmod-fs-ext3 kmod-usb-core kmod-usb-ohci kmod-usb2  
kmod-usb-storage
```

Luego de la instalación de comandos, su posterior reinicio y con la memoria USB conectada dirigirse a la administración web del dispositivo System >

Mount Points como se muestra en la figura D1, en el área de Mount Points se puede observar la memoria USB que se ha conectado y su partición destinada para Swap en la parte inferior, es necesario marcar la casilla de verificación en Mount Points y Swap, guardamos y reiniciamos el enrutador.

Mounted file systems

Filesystem	Mount Point	Available	Used
/dev/root	/rom	0.00 B / 1.88 MB	100% (1.88 MB)
tmpfs	/tmp	30.10 MB / 30.23 MB	0% (140.00 KB)
tmpfs	/dev	512.00 KB / 512.00 KB	0% (0.00 B)
/dev/sda1	/overlay	1.47 GB / 1.60 GB	4% (54.66 MB)
mini_fs/overlay	/	0.00 B / 1.88 MB	100% (1.88 MB)

Mount Points

Mount Points define at which point a memory device will be attached to the filesystem

Enabled	Device	Mount Point	Filesystem	Options	Root	Check
<input type="checkbox"/>	/dev/sda1 (1668 MB)	/home	ext3	rw,sync	no	no

SWAP

If your physical memory is insufficient unused data can be temporarily swapped to a swap-device resulting in a higher amount of usable RAM. Be aware that swapping data is a very slow process as the swap-device cannot be accessed with the high datarates of the RAM.

Enabled	Device
<input type="checkbox"/>	/dev/sda2 (257 MB)

Figura D1

Existen dos formas de verificar que el enrutador ha iniciado con el nuevo espacio en memoria como se muestra en las figuras D2 y D3 respectivamente., la primera es ingresar al dispositivo mediante vía web y verificar en System > Software y la segunda vía Telnet o SSH mediante el comando `df -h` que mostrará la el espacio disponible en el sistema de archivos.

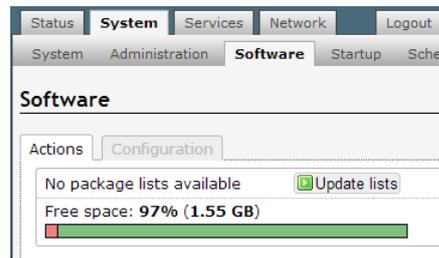


Figura D2

```

root@OpenWrt:~# df -h
Filesystem      Size      Used Available Use% Mounted on
/dev/root       1.9M      1.9M      0 100% /rom
tmpfs           30.2M     140.0K    30.1M   0% /tmp
tmpfs           512.0K      0      512.0K   0% /dev
/dev/sda1       1.6G      54.7M    1.5G   4% /overlay
mini_fo:/overlay 1.9M      1.9M      0 100% /
root@OpenWrt:~# █

```

Figura D3

Anexo E

Ficheros de configuración de Asterisk

Los archivos de configuración se localizan en el directorio `/etc/asterisk` de enrutador inalámbrico que hace las veces de servidor de VoIP

Asterisk.conf

```
[directories](!)
astetcdir => /etc/asterisk
astmoddir => /usr/lib/asterisk/modules
astvarlibdir => /usr/lib/asterisk
astdbdir => /usr/lib/asterisk
astkeydir => /usr/lib/asterisk
astdatadir => /usr/lib/asterisk
astagidir => /usr/lib/asterisk/agi-bin
astspooldir => /var/spool/asterisk
astrundir => /var/run/asterisk
astlogdir => /var/log/asterisk

[options]
;verbose = 3
;debug = 3
;alwaysfork = yes ; Same as -F at startup.
;nofork = yes ; Same as -f at startup.
;quiet = yes ; Same as -q at startup.
;timestamp = yes ; Same as -T at startup.
;execincludes = yes ; Support #exec in config files.
;console = yes ; Run as console (same as -c at startup).
;highpriority = yes ; Run realtime priority (same as -p at startup).
- asterisk.conf 1/87 1% ;record_cache_dir = /tmp
;transmit_silence = yes ; Transmit silence while a channel is in a waiting state
;transcode_via_sln = yes ; Build transcode paths via SLINEAR, instead of directly.
;runuser = asterisk ; The user to run as.
;rungroup = asterisk ; The group to run as.
;lightbackground = yes ; If your terminal is set for a light-colored background.
;forceblackbackground = yes ; Force the background of the terminal to be black
;defaultlanguage = en ; Default language
```

```
documentation_language = en_US
;hideconnect = yes ; Hide messages displayed when a remote console connects and
disconnects.
;lockconfdir = no ; Protect the directory containing the configuration files (/etc/asterisk)
with a lock.
; Changing the following lines may compromise your security.
;[files]
;astctlpermissions = 0660
;astctlowner = root
;astctlgroup = apache
;astctl = asterisk.ctl

[compat]
pbx_realtime=1.6
res_agi=1.6
app_set=1.6
```

Extensions.conf

```
[general]
autofallthrough=no
clearglobalvars=no
```

```
[extension]
```

```
exten => 1001,1,Dial(SIP/harry,20,r)
exten => 1001,2,Hangup()
```

```
exten => 1002,1,Dial(SIP/daniel,20,r)
exten => 1002,2,Hangup()
```

```
exten => 1003,1,Dial(SIP/barack,20,r)
exten => 1003,2,Hangup()
```

```
[sipp]
exten => 1111,1,Answer()
exten => 1111,2,Dial(SIP/2001,20,r)
exten => 1111,3,Playback(spam)
exten => 1111,4,Playback(spam)
exten => 1111,5,Hangup()
```

Sip.conf

```
[harry]
```

```
type=friend
defaultuser=1001
secret=1234
host=dynamic
callerid="Harry Leyton"
context=extension
nat=yes
disallow=all
allow=all
allow=g729
allow=ulaw
canreinvite=no
```

```
[daniel]
type=friend
defaultuser=1002
secret=1234
host=dynamic
callerid="Daniel Tagle"
context=extension
nat=yes
disallow=all
allow=all
allow=g729
allow=ulaw
canreinvite=no
```

```
[barack]
type=friend
defaultuser=1003
secret=1234
host=dynamic
callerid="Barack Obama"
context=extension
nat=yes
disallow=all
allow=all
allow=g729
allow=ulaw
canreinvite=no
```

```
[sipp]
type=friend
context=sipp
callerid="1111" <1111>
```

```
host=dynamic
allowguest=yes
nat=yes
port=6000
user=sipp
conreinvite=no
trustpid=yes
sendrpid=yes
disallow=all
allow=alaw
allow=ulaw
allow=g729
```

Anexo F

Configuración de software X - Lite en dispositivos terminales

Existen un amplio número de softwares y aplicaciones de libre licencia basados en el protocolo SIP que sirven para realizar y recibir llamadas en el PC o en dispositivos inteligentes bien sean estos teléfonos de última tecnología, ipods, tabletas, computadoras portátiles.

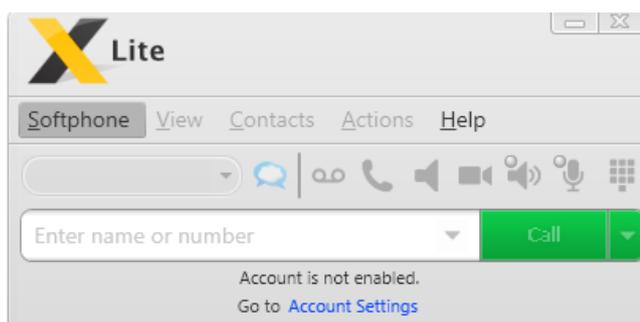


Figura F1

El software descargado para una computadora portátil con sistema operativo Windows 8 fue el X-LITE 4.5.3 (figura F1). Una vez instalado es necesario registrar un usuario de la central telefónica en Softphone > Accounts luego presionar añadir e ingresar la siguiente información en la pantalla mostrada en la figura F1.

Display name: Es el nombre que aparecerá cuando se realice una llamada

User name: Es el nombre del usuario que está registrado en la central telefónica

Password: La contraseña asociada al usuario de la central telefónica

Domain: La dirección IP del servidor de VoIP

Con esta información el usuario se podrá registrar a la central telefónica y posteriormente poder realizar llamadas.

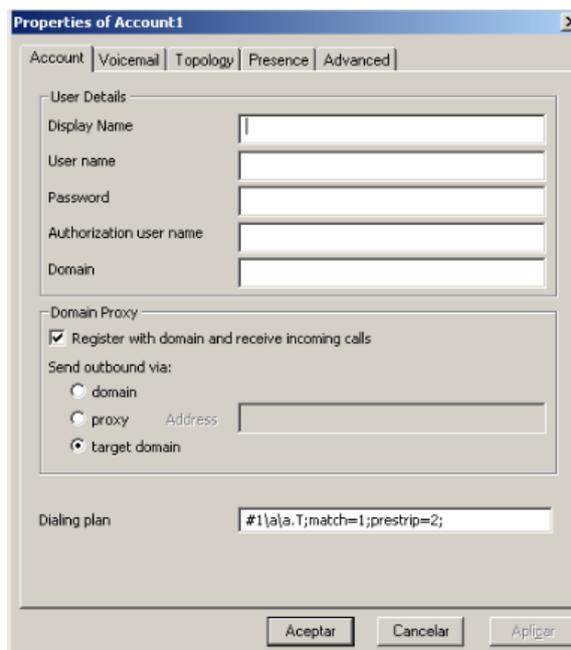


Figura F2

Otro de los softwares configurados para este proyecto fue el Media5-fone (figura F3) que una aplicación para sistemas operativos Android, IOS.



Figura F3

Para configurar esta aplicación y poder registrar otro de los usuarios de la central telefónica hay que dirigirse a More > Add Account para añadir la cuenta de usuario donde se define se definirán los siguientes datos como se muestra en la figura F4

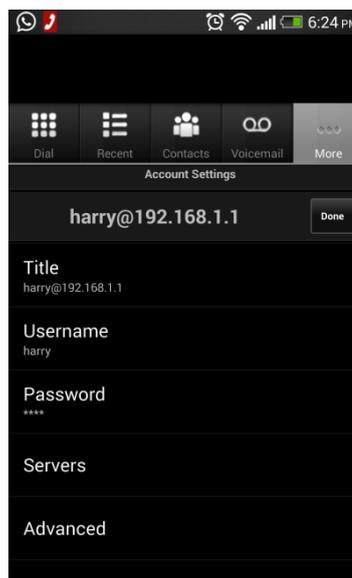


Figura F4

User name: Es el nombre del usuario que está registrado en la central telefónica

Password: La contraseña asociada al usuario de la central telefónica

En la sección Servers especificamos la dirección IP del servidor VoIP, con estas configuraciones solo es necesario estar conectado a la red que va a prestar el servicio de telefonía y la aplicación se conectará directamente al servidor

Anexo G

Escenario XML usado para realizar múltiples llamadas

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<scenario name="UAC with media">

<send retrans="500">
<![CDATA[ INVITE sip:[service]@[remote_ip]:[remote_port] SIP/2.0 Via: SIP/2.0/[transport]
[local_ip]:[local_port];branch=[branch] From: sipp
<sip:sipp@[local_ip]:[local_port]>;tag=[call_number] To: sut
<sip:[service]@[remote_ip]:[remote_port]> Call-ID: [call_id] CSeq: 1 INVITE Contact:
sip:sipp@[local_ip]:[local_port] Max-Forwards: 70 Subject: Performance Test Content-Type:
application/sdp Content-Length: [len] v=0 o=user1 53655765 2353687637 IN
IP[local_ip_type] [local_ip] s=- c=IN IP[local_ip_type] [local_ip] t=0 0 m=audio
[auto_media_port] RTP/AVP 8 a=rtpmap:8 PCMA/8000 a=rtpmap:101 telephone-
event/8000 a=fmtp:101 0-11,16 ]]>

</send><recv optional="true" response="100"></recv><recv optional="true"
response="180"></recv>
<!-- By adding rrs="true" (Record Route Sets), the route sets -->
<!-- are saved and used for following messages sent. Useful to test -->
<!-- against stateful SIP proxies/B2BUAs. -->
<recv response="200" crlf="true" rtd="true"></recv>
<!-- Packet lost can be simulated in any send/recv message by -->
<!-- by adding the 'lost = "10"'. Value can be [1-100] percent. -->
<send>

<![CDATA[ ACK sip:[service]@[remote_ip]:[remote_port] SIP/2.0 Via: SIP/2.0/[transport]
[local_ip]:[local_port];branch=[branch] From: sipp
<sip:sipp@[local_ip]:[local_port]>;tag=[call_number] To: sut
<sip:[service]@[remote_ip]:[remote_port]>[peer_tag_param] Call-ID: [call_id] CSeq: 1 ACK
Contact: sip:sipp@[local_ip]:[local_port] Max-Forwards: 70 Subject: Performance Test
Content-Length: 0 ]]>

</send>
<!-- Play a pre-recorded PCAP file (RTP stream) -->
<nop><action><exec play_pcap_audio="pcap/g711a.pcap"/></action></nop>
<!-- Pause 8 seconds, which is approximately the duration of the -->
<!-- PCAP file -->
<pause milliseconds="8000"/>

```

```

<!-- Play an out of band DTMF '1' -->
<nop><action><exec
play_pcap_audio="pcap/dtmf_2833_1.pcap"/></action></nop><pause
milliseconds="1000"/>
<!-- The 'crlf' option inserts a blank line in the statistics report. -->
<send retrans="500">

<![CDATA[ BYE sip:[service]@[remote_ip]:[remote_port] SIP/2.0 Via: SIP/2.0/[transport]
[local_ip]:[local_port];branch=[branch] From: sipp
<sip:sipp@[local_ip]:[local_port]>;tag=[call_number] To: sut
<sip:[service]@[remote_ip]:[remote_port]>[peer_tag_param] Call-ID: [call_id] CSeq: 2 BYE
Contact: sip:sipp@[local_ip]:[local_port] Max-Forwards: 70 Subject: Performance Test
Content-Length: 0 ]]>

</send><recv response="200" crlf="true"> </recv>
<!-- definition of the response time repartition table (unit is ms) -->
<ResponseTimeRepartition value="10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200"/>
<!-- definition of the call length repartition table (unit is ms) -->
<CallLengthRepartition value="10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000"/></scenario>

```

Anexo H

Cálculo del tamaño de la muestra representativa de llamadas

Para el cálculo de una muestra N' que resulte representativa en base a una población N conocida, definida como el número máximo de llamadas a realizarse en el servidor VoIP

$$N_0 = Z^2PQ/e^2$$

El porcentaje de error e , el máximo error permitido es asumido por un 5 % , P y Q son valores de variabilidad y cuando no existen estudios o pruebas anteriores se pueden estimar los valores de $P = Q = 0.5$ donde $P + Q = 1$, Z es un factor probabilístico que viene dado por el nivel de confianza con el que se decida trabajar, para una distribución normal con un intervalo de confianza del 95% el valor de Z es 1.96

Debido a que conocemos el tamaño de la población $N = 200$ es necesario hacer un ajuste al tamaño de la muestra que ahora será N' donde:

$$N' = N_0 / (1 + (N_0 - 1)/N)$$

Dando como resultado una muestra representativa de $131.75 \approx 132$ llamadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Asterisk Forum,» , [En línea]. Disponible: <http://forums.asterisk.org/>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [2] « OpenWrt Wireless Freedom,» [En línea]. Disponible: <https://forum.openwrt.org/>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [3] «The Wireshark packet analyzer,» Wireshark, [En línea]. Disponible: <http://wireshark.org>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [4] ITU, « ITU Publications,» ITU, [En línea]. Disponible <http://www.itu.int/en/publications/Pages/default.aspx>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [5] «OLSR configuration,» [En línea]. Disponible: <http://wiki.openwrt.org/inbox/mesh.olsr>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [6] «Routed Client with relayd (Pseudobridge),» [En línea]. Disponible: <http://wiki.openwrt.org/doc/recipes/relayclient>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [7] «NanoStation Loco | Ubiquiti Networks, Inc,» Ubiquiti Networks, [En línea]. Disponible: <http://www.ubnt.com/nanostationloco>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [8] «NanoStation M Quick Start Guide,» Ubiquiti, [En línea]. Disponible: [http://dl.ubnt.com/guides/NanoStation_M/NanoStation_M_Loco_M_QS G.pdf](http://dl.ubnt.com/guides/NanoStation_M/NanoStation_M_Loco_M_QS_G.pdf). [Último acceso: Noviembre 2013].
- [9] «Micronautas WIP,» [En línea]. Disponible: <http://tombatossals.github.io/>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [10] «Sipp Referene Configurations,» [En línea]. Disponible: <http://sipp.sourceforge.net/doc/reference.html>. [Último acceso: Noviembre 2013].

- [11] M. Moraes, «Using SIPp to run performance tests,» [En línea]. Disponible: <http://wiki.sipfoundry.org/display/sipXecs/Using+SIPp+to+run+performance+tests>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [12] Joskowicz, «Medida de la calidad de voz en redes IP,» [En línea]. Disponible: <http://iie.fing.edu.uy/~josej/docs/Medida%20de%20la%20calidad%20de%20voz%20en%20redes%20IP.pdf>. [Último acceso: Diciembre 2013].
- [13] «X-Lite 4 Soft Phone Setup,» [En línea]. Disponible: <http://www.easyofficephone.com/support/x-lite-4-setup>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [14] A. D. Limachi, «Redes Inalámbricas Topología,» [En línea]. Disponible: <http://www.slideshare.net/alandk/topologias-inalambricas-presentation>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [15] «Mejores prácticas para redes de datos,» [En línea]. Disponible: http://es.wikibooks.org/wiki/Mejores_pr%C3%A1cticas_para_redes_de_datos/Topolog%C3%ADas_de_Red. [Último acceso: Febrero 2013].
- [16] A. Valderrama, «Topología de Redes: Topología de Árbol,» [En línea]. Disponible: <http://alexa-networking.blogspot.com/2010/05/topologia-de-arbol.html>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [17] «RadioEnlaces,» [En línea]. Disponible: <http://bakonet.co/radioenlaces/>. [Último acceso: Febrero 2013].