



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“Análisis comparativo en términos de capacidad y calidad de servicio de una PBX en código abierto instalada en un enrutador inalámbrico y en un servidor tradicional usando Redes Inalámbricas Mesh.”

**INFORME DE**  
**PROYECTO DE GRADUACION**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELEMÁTICA**

Presentada por:

**ALEXANDRA ESTEFANIA ARIAS TORRES**

**ROXANNA CLARIBEL PEÑA GALEAS**

Guayaquil - Ecuador

2011

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar a Dios por acompañarnos a lo largo de nuestras vidas y permitirnos culminar esta meta.

A nuestros padres, amigos y a todas las personas que nos apoyaron en la realización de este Proyecto de Grado, de manera especial a nuestra directora la Ing. Patricia Chávez y al Ing. Juan Carlos Basurto.

De la misma manera agradecemos al Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas (CIDIS), por las facilidades brindadas en el Laboratorio de Comunicaciones Móviles.

## DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Mariana y Diego que confiaron en mí al iniciar este sueño, a mis hermanas Andrea e Indira, a Mamita Meche, a toda mi familia que siempre me dio los mejores consejos para seguir adelante, a mis amigos y a Cristhian por apoyarme incondicionalmente.

*Alexandra Estefanía Arias Torres.*

Dedico este trabajo a mis padres, a mi hermana y a mis amigos por su apoyo y comprensión.

*Roxanna Claribel Peña Galeas.*

# DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Alexandra Estefanía Arias Torres

---

Roxanna Claribel Peña Galeas

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Jorge Aragundi.

**SUB-DECANO FIEC**

---

Ing. Patricia Chávez B.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Albert Espinal.

**MIEMBRO PRINCIPAL**

# RESUMEN

En la actualidad las redes inalámbricas se están usando con mayor frecuencia por empresas e instituciones, ya que estas permiten a los clientes de red movilidad, pero con esto conlleva a analizar cuál es la mejor forma de implementarlas para tener una buena calidad de servicios.

Las empresas e instituciones también buscan optimizar costos usando la red de datos para transmitir voz y así no contratar empresas particulares para que brinden servicios de telefonía tradicional.

El presente trabajo compara dos Implementaciones de Centrales Telefónicas VoIP de Código Abierto implementados sobre una Red Inalámbrica Amallada. El primero comprende la instalación de la PBX en un servidor tradicional y la segundo la instalación de una PBX en un enrutador inalámbrico.

La comparación de los sistemas fue realizada en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de Electrónica y Computación de la ESPOL, para la cual se realizaron pruebas que determinaron que tan factible es usar un servidor Asterisk Inalámbrico teniendo en cuenta su calidad de servicio y su capacidad.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Antecedentes y Justificación.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Descripción del Proyecto .....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Justificación .....	3
1.4 Metodología.....	5

<b>2. Análisis de la solución .....</b>	<b>6</b>
2.1 Requerimientos.....	6
2.2 Topología de redes.....	7
2.3 Protocolos de enrutamiento para redes inalámbricas .....	12
2.4 Centrales PBX. ....	15
2.5 Análisis de la solución.....	23
<b>3. Diseño de la Solución.....</b>	<b>26</b>
3.1 Dispositivos que conforman la red inalámbrica Mesh. ....	26
3.2 Esquema de la red inalámbrica Mesh en la FIEC .....	29
3.3 Parámetros para la comparación y tipos de mediciones. ..	32
<b>4. Implementación y pruebas.....</b>	<b>35</b>
4.1 Instalación y configuración de dispositivos. ....	35
4.2 Verificación del funcionamiento del enrutamiento en la red inalámbrica Mesh.....	43
4.3 Pruebas de Estrés .....	45
4.4 Pruebas de Movilidad y Calidad de Servicio. ....	47



<b>5. Resultados .....</b>	<b>49</b>
5.1 Reporte de Prueba de Estrés .....	49
5.2 Reporte de Prueba de Movilidad y Calidad de Servicio ....	53
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Topología en Estrella.....	8
Figura 2-2 Topología en Árbol .....	9
Figura 2-3 Topología en Anillo .....	9
Figura 2-4 Topología en Malla .....	10
Figura 2-5 Topología Ad-hoc .....	12
Figura 2-6 PBX Panasonic – Modelo KX-NCP1000 .....	17
Figura 2-7 PBX Cisco Modelo UC500 .....	17
Figura 3-1 Enrutador WRT160NL .....	27
Figura 3-2 Esquema de la Red Mesh en la FIEC .....	30
Figura 3-3 Vista Satelital de la Red Mesh en la FIEC .....	30
Figura 3-4 Red Mesh con IP-PBX en servidor tradicional. ....	31
Figura 3-5 Red Mesh con IP-PBX en enrutador inalámbrico.....	31
Figura 4-1 Instalación de OpenWrt.....	36
Figura 4-2 Espacio disponible en el enrutador. ....	39
Figura 4-3 Asterisk en OpenWrt .....	39
Figura 4-4 Elastix.....	40
Figura 4-5 Extensiones SIP en Elastix .....	41
Figura 4-6 Analizador de Protocolos de Red Wireshark.....	42

Figura 4-7 Softphone X-lite .....	43
Figura 4-8 Tabla de Enrutamiento Nodo 1 .....	44
Figura 4-9 SIPp: Herramienta de prueba generadora de tráfico .....	45
Figura 4-10 Escenario UAC con envío de flujo RTP .....	47
Figura 4-11 Recorrido de la prueba de movilidad .....	48
Figura 5-1 Reporte de rendimiento del servidor Asterisk Inalámbrico. ....	51
Figura 5-2 Reporte de rendimiento del servidor Asterisk tradicional.....	52
Figura 5-3 Ancho de banda de la red mesh con servidor PBX-IP inalámbrico .....	56
Figura 5-4 Ancho de Banda de la red mesh con servidor PBX-IP tradicional. .....	56
Figura 5-5 Retardo de la red mesh con servidor PBX-IP inalámbrico.....	58
Figura 5-6 Retardo de la red mesh con servidor PBX-IP tradicional.....	58
Figura 5-7 Jitter de la red mesh con servidor PBX-IP inalámbrico.....	60
Figura 5-8 Jitter de la red mesh con servidor PBX-IP tradicional.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I – Especificaciones del Servidor Tradicional.....	28
Tabla II – Especificaciones de Clientes .....	29
Tabla III – Configuraciones de red en enrutadores inalámbricos. ....	37
Tabla IV - Configuración de clientes en la red .....	41
Tabla V – Resultado de Estrés usando SIPp .....	50

## ABREVIATURAS

IP	Protocolo de Internet
NAT	Traducción de Direcciones de Red.
VoIP	Voz sobre IP.
PBX	Central de Intercambio Privada.
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
RTP	Protocolo de Tiempo Real.
RSSI	Indicador de Intensidad de Señal.
SSID	Identificador de Servicios.
OLSR	Protocolo por optimización del estado de enlace.
PMBX	Central Manual de Intercambio Privada.
PABX	Central Automática de Intercambio Privada.
SIP	Protocolo de inicio de sesión.
IAX	Protocolo de Intercambio entre centrales Asterisk.
Mp3	Formato de compresión de audio digital.
PHP	Procesador de hipertexto.
XML	Lenguaje de marcas extensible.
XML-RPC	Lenguaje de marcas extensible para llamadas remotas.
HTTP	Protocolo de transferencia de hipertexto.
TTS	Texto a voz.

ASR	Reconocimiento automático de voz.
VPN	Red privada virtual.
PIAF	Central de Intercambio Privada en un instante.
SSL	Protocolo de capa de conexión segura.
Gtalk	Chat de Google.
LAN	Red de área local.
WAN	Red de área amplia.
OA&M	Operación administración y mantenimiento.
R-SMA	Conector para cable coaxial.
USB	Bus universal en serie.
DDRAM	Memoria dinámica de acceso aleatorio de doble velocidad.
HP	Compañía Hewlett-Packard.
Kbps	Kilobits por segundo.
Mbps	Megabits por segundo.
Gbps	Gigabit por segundo.
NTFS	Sistema de archivos de Windows NT.
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VSP	Proveedor de Servicios de VoIP.
TCP	Protocolo de control de transmisión.
UDP	Protocolo basado en el intercambio de datagramas.

# INTRODUCCIÓN

El uso de internet hoy en día es importante, ya que nos permite informarnos, aprender y sobre todo comunicarnos. La mayoría de hogares y empresas cuentan con Internet el cual es proporcionado por los ISP, así mismo estas empresas cuentan con centrales telefónicas proporcionadas por empresas proveedoras de la telefonía tradicional

En la actualidad muchas empresas están usando servicios de Internet para transmitir voz y datos sobre la red que ya se encuentra instalada en la misma y así reducir costos, ya que no necesitaran contratar servicios a las proveedoras de telefonía tradicional.

El objetivo principal de este proyecto es determinar cuan factible es tener una PBX en un enrutador inalámbrico comparada con una PBX en un servidor tradicional, los cuales se analizan en una red mesh para brindar movilidad a los clientes de la red.

Se analiza la calidad de servicios y la capacidad de una red mesh con un servidor Asterisk tradicional y con un enrutador Asterisk inalámbrico

construida en las instalaciones de la FIEC, cuyos resultados nos permitan definir cuál de estos dos sistemas es mejor.

Para el análisis se realizaron dos pruebas, una de ellas es la prueba de estrés que consiste en enviar una gran cantidad de llamadas a los dos servidores Asterisk para determinar la cantidad de llamadas que soportan; la otra prueba es la de movilidad la cual consiste en determinar la calidad de servicios en términos de ancho de banda, retardo y jitter, mientras un cliente móvil recorre la red realizando una llamada VoIP con un cliente estacionario.

Finalmente, los resultados obtenidos con las pruebas fueron analizados, de tal manera que cumplan con los estándares de la ITU en cuanto a calidad de servicios, una vez analizados se procedió a comparar los dos sistemas y determinar cuál de los dos servidores Asterisk es mejor en cuanto a calidad de servicio y capacidad.



# **CAPÍTULO 1**

## **1. Antecedentes y Justificación**

### **1.1 Antecedentes**

A lo largo de la historia, la tecnología ha evolucionado mejorando el estilo de vida de las personas y la manera en la que se comunican, es así que la humanidad ha usado diferentes medios para comunicarse desde los más antiguos como señales de humo, jeroglíficos, pasando por el papel, el telégrafo, el teléfono, el fax hasta los más actuales como son los celulares, smartphones, computadores y el Internet, el mismo que nos permite compartir desde cualquier parte del mundo, con nuestros contactos, ya sean amigos, familiares o clientes, de una manera mucho más interactiva.

En la mayoría de las empresas de nuestro país, se utilizan centrales telefónicas proporcionadas por empresas proveedoras de la telefonía

tradicional, lo cual en muchos casos resulta un gasto colosal, sobre todo para empresas pequeñas. El uso de la telefonía VoIP ha llegado como la solución para la reducción de gastos, por eso se ha incrementado, por ser menos costosa que su equivalente en telefonía convencional y aprovecha la red ya instalada para la transmisión de voz y datos.

Se ha demostrado que para la implementación de una red que soporte el uso de VoIP, dentro de las instalaciones de nuestra facultad, es mucho mas optimo el uso de una red Mesh, puesto que la red existente actualmente no es apta para nuestro objetivo. Es así que si imaginamos la configuración de una PBX sobre una red mesh, es decir, donde todos los puntos están redundantes, si uno de los puntos pierde conexión o se pierde, nuestra PBX permanecerá disponible.

## **1.2 Descripción del Proyecto**

### **1.2.1 Objetivo General**

Establecer ventajas y desventajas al comparar un servidor tradicional Asterisk con un enrutador inalámbrico Asterisk dentro de una red mesh, en términos de capacidad y calidad de servicio.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Instalar Asterisk en un servidor.
- Instalar OpenWrt en un enrutador WRT160NL.
- Adaptar una memoria USB al enrutador WRT160NL para expandir su capacidad de almacenamiento.
- Instalar de Asterisk en un enrutador WRT160NL.
- Construir una red mesh usando enrutadores WRT160NL.
- Medir el ancho de banda de la red mesh.
- Determinar la capacidad de una red mesh que usa Asterisk.
- Determinar el uso potencial de este sistema, dentro de las instalaciones de la facultad.

### **1.3 Justificación**

El costo del servicio de VoIP que actualmente ofrecen las compañías de telecomunicaciones es relativamente elevado, por lo que pocas empresas lo usan. Usando Asterisk (software libre) podemos convertir una computadora o un enrutador en una central telefónica (PBX), lo que beneficiará significativamente la economía de la empresa.

Una de las principales ventajas del uso de VoIP es que evita los altos cargos de la telefonía tradicional. Adicionalmente cabe recalcar que

las llamadas entre extensiones del mismo servidor son gratuitas. VoIP utiliza el protocolo IP, de esta manera aprovechamos toda la capacidad de una red ya implementada y sin un costo adicional.

El uso de un enrutador tiene múltiples beneficios sobre el uso de un servidor, ya que es un dispositivo mucho más versátil en cuanto a tamaño, costo, uso de energía eléctrica y sobretodo portabilidad. Nos facilita el cableado y también aprovecha de mejor manera los espacios físicos disponibles. A pesar de que los enrutadores a utilizarse tienen capacidades avanzadas que nos permiten la instalación de Asterisk, no dejan de ser una opción mucho más económica que si se optara por un servidor.

Una red mesh conformada por varios enrutadores, nos brinda movilidad ya que la podríamos trasladar de un lugar otro nuestra red, lo cual no sería tan sencillo si tuviéramos varios servidores.

Usar un enrutador que funcione como una PBX sería muy rentable, por esta razón hacer comparación de ciertos parámetros entre una red mesh que usa Asterisk y un servidor, podría dar resultados interesantes que nos servirán para futuras investigaciones e implementación de nuevas aplicaciones.

## 1.4 Metodología

Para realizar el análisis comparativo en términos de capacidad y calidad de servicio en una PBX en código abierto instalada en un enrutador inalámbrico y en un servidor tradicional se realizarán diferentes pruebas que nos permitirán el estudio de estos sistemas.

Las pruebas se realizaron en las instalaciones de la FIEC en el área comprendida entre los laboratorios de redes eléctricas, electrónica A y laboratorio de maquinarias eléctricas.

Una de las pruebas consiste en analizar el tráfico de la red, para lo cual utilizamos un software de código abierto (Wireshark) que captura paquetes RTP que son enviados y recibidos desde las interfaces de una laptop hacia otra, en las cuales se ha instalado un softphone que se encuentra registrado a la PBX en código abierto. Las capturas que se realizan con este software permiten el análisis de varios parámetros como ancho de banda, retardo y jitter.

Otra prueba realizada es la prueba de estrés, que nos permite conocer cuál es el máximo de llamadas que pueden soportar los servidores, para esto se utilizó una herramienta llamada Sipp, la cual nos permite simular llamadas hacia el servidor y así probar su capacidad.

# CAPÍTULO 2

## 2. Análisis de la solución

### 2.1 Requerimientos

Para realizar este análisis se tomará en cuenta requerimientos físicos, operativos y funcionales.

Los requerimientos físicos comprenden la parte del hardware de este proyecto, conformado por los enrutadores inalámbricos, el servidor, y las laptops que nos permitirán realizar las pruebas correspondientes.

Los requerimientos operativos son el protocolo de enrutamiento que utilizaremos, la topología de red tanto física como lógica, la central PBX tanto para el enrutador inalámbrico como para el servidor tradicional.

Los requerimientos funcionales son las características mínimas necesarias para el correcto funcionamiento de este proyecto, entre los cuales tenemos que nuestra red debe brindar completa movilidad a los usuarios, además el valor mínimo del indicador de la potencia de la señal recibida (RSSI) debe ser de 65 dBm en los clientes de la red; todos los enrutadores deben ser capaces de comunicarse entre sí, así también debe existir una redundancia en la red, para que en caso de la pérdida de un nodo la red no se vea afectada.

## **2.2 Topología de redes.**

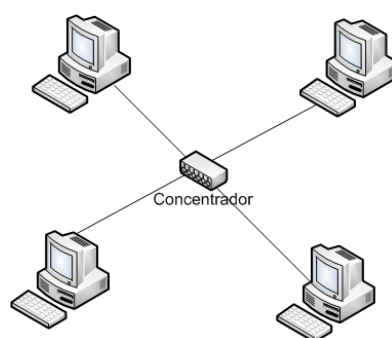
Toda red tiene dos tipos de topología la lógica y la física. La topología lógica de la red se refiere a como se comunican los dispositivos de la red, considerando por ejemplo, el método y el flujo de la información transmitida entre nodos. La topología física de red se refiere a la forma geométrica en que se encuentran distribuidos los dispositivos de la red. Las topologías físicas más usadas para las redes inalámbricas son: estrella, árbol, anillo, malla completa y malla parcial.

### **Topología en Estrella**

La red en estrella se caracteriza por tener un dispositivo central llamado concentrador. Cada dispositivo de la red tiene un enlace punto

a punto al concentrador, éste enlace es dedicado y para comunicarse con cualquier otro dispositivo de la red tiene que pasar obligatoriamente a través del concentrador.

Una de las ventajas de esta topología es su escalabilidad, ya que los dispositivos se conectan solo al concentrador.



**Figura 2-1** Topología en Estrella

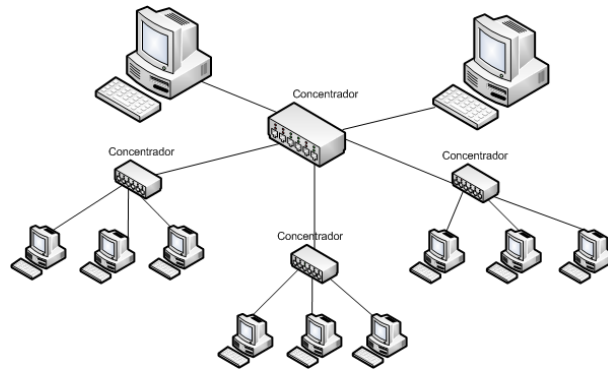
### **Topología en Árbol.**

La topología en árbol se caracteriza por tener un concentrador central al cual se conectan concentradores secundarios, en los cuales se conectan topologías estrella.

La ventaja de esta topología es su escalabilidad, ya que cuando se necesita integrar un nuevo dispositivo en la red solo se establece el enlace entre el dispositivo y el concentrador secundario. Este tipo de



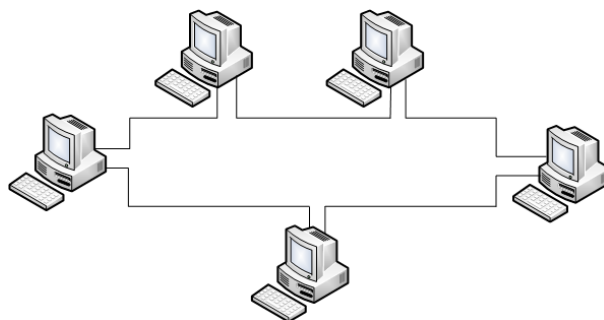
topología es utilizada por los proveedores de servicios debido a su escalabilidad.



**Figura 2-2** Topología en Árbol

### **Topología en Anillo.**

Un dispositivo de la topología anillo se caracteriza por tener enlaces punto a punto solo con dispositivos que se encuentran a sus lados. Para establecer la comunicación entre otro dispositivo la información viaja en una sola dirección hasta llegar al dispositivo destino.

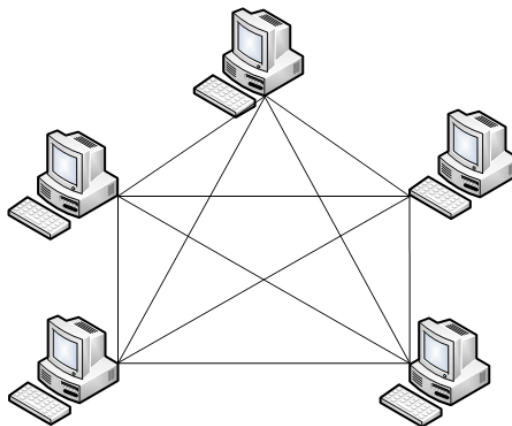


**Figura 2-3** Topología en Anillo

### **Topología en Malla.**

La red malla se caracteriza porque cada dispositivo de la red tiene enlaces punto a punto dedicados para todos los dispositivos de la red.

Las ventajas de esta topología es que si un nodo llegara a fallar la comunicación entre los demás nodos no afectaría; otra de las ventajas es la seguridad ya que cuenta con líneas dedicadas, solo el destino podrá ver la información enviada por el origen.



**Figura 2-4** Topología en Malla

Las topologías lógicas para redes inalámbricas son: Infraestructura y Ad-hoc.

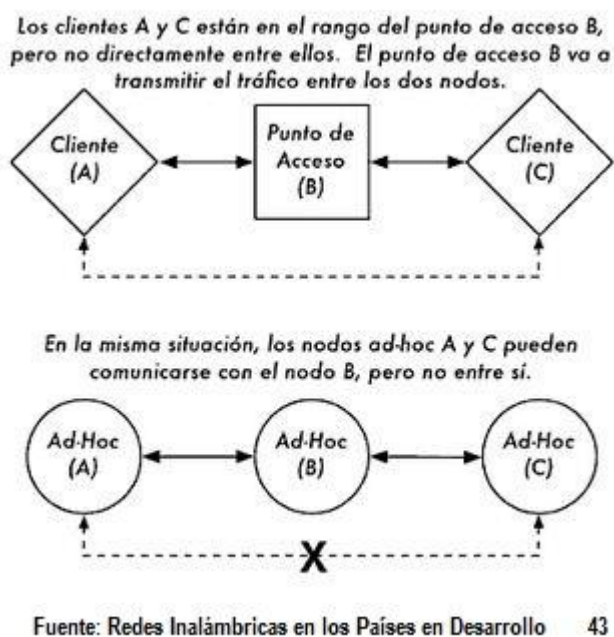
### **Topología Infraestructura.**

Las redes que tienen una topología infraestructura tienen un nodo central, al cual los demás nodos (clientes) se conectan. En el nodo central se configura el respectivo identificador de servicio (SSID) de la red a la cual los clientes se conectan. Para poder conectarse a la red que tiene una topología infraestructura es necesario que se encuentre dentro del rango de cobertura del nodo central.

### **Topología Ad-hoc.**

Este tipo de topología se caracteriza porque todos los nodos de la red son capaces de comunicarse entre sí por sí solos (punto a punto), siempre y cuando se encuentren en su rango de cobertura, pero no pueden comunicarse a través de otro nodo, como se observa en la Figura 2.5. Este problema se soluciona con los protocolos de enrutamiento, los cuales se detallarán en la siguiente sección.

Cada nodo de la red debe tener el mismo SSID. Mientras más distancia cubra la red más dispositivos debe tener para que la cobertura de la red sea la adecuada.



**Figura 2-5** Topología Ad-hoc

### 2.3 Protocolos de enrutamiento para redes inalámbricas

Los protocolos de enrutamiento nos ayudan a buscar la mejor ruta hacia los dispositivos destino mediante las tablas de enrutamiento, en la cual se listan los mejores caminos hacia todos los dispositivos que conforman la red.

Los protocolos para redes inalámbricas pueden ser: proactivos o reactivos. Los protocolos proactivos se caracterizan por actualizar sus tablas de enrutamiento cada cierto tiempo, con la finalidad de tener

preparadas las rutas activas en caso de que se utilicen; mientras que los protocolos reactivos actualizan sus tablas de enrutamiento solo cuando necesitan una ruta.

Entre los protocolos proactivos tenemos: OLSR, TBRPF, HSLs.

**OLSR**(Optimized Link State Routing Protocol) En el protocolo de enrutamiento por optimización del estado de enlace, todos los dispositivos con envían constantemente mensajes de “hello” a los dispositivos vecinos con un cierto intervalo, los cuales son usados para que los vecinos conozcan que aún sigue activo dicho dispositivo, estos a la vez envían mensajes de control para que toda la red conozca cuales son los dispositivos que todavía siguen activos en la red y no sean borrados de sus tablas de enrutamiento.

**TBRPF** (Topology Broadcast based on Reverse Path Forwarding) Este protocolo de topología de difusión basado en el reenvío de rutas, crea un árbol por cada dispositivo de la red, lo realiza mediante una modificación del algoritmo de Dijkstra. Cuando se envían las actualizaciones de enrutamiento cada dispositivo envía información de su árbol en el cual se encuentran los vecinos que están activos.

**HSL** (Hazy Sighted Link State Routing Protocol) este protocolo de enrutamiento por vista confusa del estado de enlace, elimina los enlaces de baja calidad, este protocolo es tanto proactivo como reactivo, ya que envía los mensajes de actualización en un determinado tiempo y espacio, se lo utiliza en redes de más de mil nodos.

Algunos protocolos reactivos son: AODV, DSR los cuales se detallan a continuación.

**AODV** (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing) Este protocolo se caracteriza por tener un enrutamiento por demanda, es decir que establece la ruta siempre y cuando un dispositivo de la red envíe un mensaje pidiendo información "route request", los dispositivos que conocen como llegar al destino enviarán mensajes de respuesta "route reply" al origen, con la finalidad de establecer la ruta, esta permanecerá activa mientras dure la comunicación origen-destino.

**DSR** (Dynamic Source Routing) los dispositivos con este tipo de protocolo envían paquetes en los cuales se incluye como cabecera la ruta de los dispositivos por la cual el paquete debe pasar. Este

protocolo envía mensajes de route request, route reply y error para encontrar y actualizar las tablas de enrutamiento.

## **2.4 Centrales PBX.**

PBX proviene de las siglas de Private Branch Exchange, es una central telefónica privada que se utiliza para interconectar líneas telefónicas dentro de una empresa.

Tiene características importantes que no poseen las líneas convencionales, y sin la necesidad de contratar los servicios de la PSTN (Public Switched Telephone Network) para la comunicación interna de la empresa. Generalmente este dispositivo pertenece a la empresa que lo adquiere y no a la compañía de servicios telefónicos, por eso su definición de privada.

A manera de historia podemos mencionar que el término PBX se lo empezó a utilizar aún cuando la conmutación de circuitos era realizada manualmente por los operadores. A medida que iban apareciendo centrales que no requerían la presencia de un operador, se creó la clasificación de PMBX (Private Manual Branch Exchange) y PABX (Private Automatic Branch Exchange) pero con el tiempo todas las

centrales se convirtieron en automáticas y por eso se eliminó esta división quedando sencillamente el término PBX.

Dentro de las ventajas de una PBX podemos mencionar la rapidez y la gratuidad de la comunicación entre líneas internas de la empresa. Evidentemente se necesitará los servicios de una compañía telefónica para realizar llamadas hacia líneas externas, pero gracias al uso de enlaces troncales que se pueden compartir, no será necesario contratar una línea por cada empleado, lo cual representa un ahorro a la empresa.

Una PBX implementa características adicionales como: desvío de llamadas, IVR, contestadora, conferencias, líneas en espera, correo de voz, conferencias, transferencia de llamadas, restricción de llamadas según el departamento, etcétera, además de proporcionar herramientas de control que permiten implementar restricciones y seguridad sobre las llamadas que se realicen.

En el mercado actual podemos encontrar diferentes opciones de centrales telefónicas entre ellas tenemos:



## PBX Tradicionales

Estos equipos son vendidos por reconocidas marcas. Actualmente no solo se dedican a la venta de PBX tradicionales, sino también a la distribución de una variedad de equipos relacionados con la telefonía, tales como gateways, teléfonos ips, centrales analógicas y digitales, centrales híbridas. Entre las marcas que distribuyen estos equipos tenemos: Alcatel, Ericsson, Linksys, Siemens con sus familias HiPath y Hicom, Panasonic y Cisco.



Fuente: <http://www.panasonicpbx.com/>

**Figura 2-6** PBX Panasonic – Modelo KX-NCP1000



Fuente: <http://www.cisco.com/>

**Figura 2-7** PBX Cisco Modelo UC500

**PBX Virtual o alojado en sistemas.**

Es un servicio con la funcionalidad de PBX disponible a través de la telefonía pública PSTN o a través de Internet. Es decir la empresa en lugar de comprar equipos de PBX contrata o arrienda los servicios de un proveedor.

Las funciones principales de un servicio alojado PBX son similares a los de los sistemas PBX hardware instalado dentro de la empresa. La única diferencia es que los clientes de un PBX virtual no compran, instalan ni mantienen equipos. En cambio, el equipo central es mantenido por el proveedor de servicios, y es compartido por varios clientes.

**PBX Móviles**

Es también un servicio, brindado por las compañías celulares en ciertos países, el cual ofrece los mismos beneficios de una PBX tradicional aplicados a la telefonía celular.

**IP-PBX**

Por sus beneficios, es el sistema más utilizado en la actualidad, ya que aprovecha el protocolo Internet, para agregarle la transmisión de voz a una red que ya está implementada para datos. De aquí nace el

término VoIP (Voice Over Internet Protocol), llamado también Voz sobre Ip, que es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz sea transmitida a través de Internet, es decir que se envía de forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos de la telefonía tradicional.

Una IP-PBX puede tener su hardware físico o ser virtual, en este caso se lo conoce como Soft-PBX. Gracias a que la mayor parte de una IP-PBX está formada por software, obtenemos varios beneficios como el bajo costo de equipos y la facilidad para implementar nuevas funcionalidades.

### **IP- PBX Libres y Privativas**

VoIP es uno de los temas con mayor interés en el mundo actual, por esta razón una buen grupo de personas se han dedicado a desarrollar PBX en software libre, de la misma manera las empresas han invertido en el desarrollo de software licenciado. Aquí varios ejemplos.

#### **Asterisk**

Asterisk es un proyecto de software libre desarrollado inicialmente por la empresa Digium, pero actualmente cuenta con miles de personas que contribuyen en su desarrollo. Asterisk es también una comunidad

de software libre, es decir tú puedes agregar, quitar o modificar el código según tus necesidades.

Es un “Software PBX en Código Abierto” que puede convertir una simple PC en una central telefónica completa con todas sus características, para usuarios caseros, empresas o para un proveedor de servicios de VoIP.

Asterisk nos permite una comunicación en tiempo real entre la telefonía pública PSTN y las redes VoIP; tiene una gama de características que hacen su diferencia en el mercado. Entre las características más destacadas de Asterisk tenemos:

- Soporta protocolos de VoIP que incluyen SIP, IAXv1 y v2, H.323, SCCP (Cisco Skinny).
- Entre los Códecs que soporta Asterisk tenemos G.711 ulaw (USA), G.711 alaw (Europa), G.722, G.723.1, G.726, G.729, GSM, iLBC, LPC10, Speex.
- Música de espera para clientes en lista de espera, soporta medios de transmisión y archivos Mp3.
- Espera de llamadas, donde un equipo de agentes pueden contestar las llamadas y monitorear las llamadas pendientes.

- Grabaciones detalladas que pueden ser transferidas a archivos de texto y bases de datos.
- Conexión a la PSTN a través de líneas digitales y analógicas.
- Puede ser extendido usando scripts de lenguajes como php y Perl.
- IVR
- **XML-RPC** Remote Procedure Call. El procedimiento de llamadas remotas es un protocolo que usa XML para codificar las llamadas y HTTP como mecanismo de transporte.
- **TTS/ASR** Narración de texto y reconocimiento de voz.
- Conectar a los trabajadores desde casa a su oficina PBX a través de su conexión a Internet.
- Conectar varias oficinas en diferentes lugares a través de la red IP, redes privadas o incluso a través de Internet.
- Brindar a sus trabajadores servicios integrados de navegación web, correo electrónico y correo de voz.
- Brindar a los usuarios viajeros acceso a la PBX de la compañía desde cualquier lugar, con una simple conexión de ancho de banda o una conexión VPN.

### **Derivados de Asterisk**

Sobre la plataforma de Asterisk se han desarrollado otros proyectos de código abierto, entre ellos destacamos:

### **Elastix**

Es una de las aplicaciones basadas en Asterisk más utilizadas en el mercado actual, cuenta con una interfaz web que hace su uso más amigable al usuario.

De acuerdo a su página web, Elastix es un software de código abierto para el establecimiento comunicaciones unificadas. Pensando en este concepto el objetivo de Elastix es el de incorporar en una única solución todos los medios y alternativas de comunicación existentes en el ámbito empresarial. El proyecto Elastix se inició como una interfaz de reportación para llamadas de Asterisk y fue liberado en Marzo del 2006. Posteriormente el proyecto evolucionó hasta convertirse en una distro basada en Asterisk. Elastix no solo ofrece los servicios de telefonía sino además integra otros servicios como servidor de correo, mensajería instantánea, servidor de fax, video conferencia.

### **PIAF - PBX in a Flash**

Es una distribución basada en Centos 5. También tiene su versión para ser instalada en máquinas virtuales. Incluye servicios como Asterisk, FreePBX, Apache, MySQL, PHP, phpMyAdmin, SendMail, Perl, Flite.

Según su sitio web, esta distribución ofrece aplicaciones de fácil y rápida instalación, además cuenta con la suficiente documentación, los usuarios eligen si instalarlas o no. Lo que realmente diferencia a PIAF de la competencia es su énfasis en la seguridad y su capacidad de actualización, entre sus objetivos esta no volverse una distribución pesada y sobretodo no tener fallas. Existe una extensa lista de aplicaciones disponibles entre las cuales recalcamos: copias de seguridad automática, identificador de llamadas, servicios de búsqueda, X-Windows (herramienta para interfaz gráfica), claves SSL, Gtalk, Cepstral Allison para aplicaciones de narración, soporte de fax, y muchas más.

## **2.5 Análisis de la solución.**

Para cumplir con los requerimientos planteados al inicio de este capítulo se ha llegado al siguiente análisis:

Como protocolo de enrutamiento se ha escogido el protocolo OLSR, una de las razones es porque es un protocolo proactivo, es decir que en las tablas de enrutamiento siempre se encontrarán las rutas activas de la red; otra de las razones es porque este protocolo actualiza cada cierto tiempo las tablas de enrutamiento enviando mensajes de control.

No se escogió los protocolos reactivos debido a que sus tablas de enrutamiento no se actualizan periódicamente, en cuanto a los demás protocolos proactivos esta el TBRPF no se escogió a este protocolo porque necesita más recursos para encontrar la mejor ruta, ya que usa un algoritmo especial. El protocolo HSLS no se escogió porque elimina los enlaces de mala calidad y porque este tipo de protocolo es usado en redes grandes.

Como Topología Lógica de red se ha escogido la topología Ad-hoc, ya que cada nodo de la red puede transmitir información punto-a-punto, mientras que en la topología Infraestructura solo existe un nodo central y funciona como cliente-servidor. Y nuestra red no tiene que estar centralizada, sino distribuida por las instalaciones de la facultad.

Como Topología Física se ha escogido la topología malla parcial, ya que ésta proporciona redundancia a la red, lo cual es útil al momento de que un nodo falla. Tanto la topología anillo como estrella no cumplen con los requerimientos, no tienen redundancia y los paquetes tardan demasiado ya que en el caso de la topología anillo la información viaja solo en un solo sentido mientras que en la estrella la



información debe pasar primero por el concentrador central antes de ser enviada al nodo destino.

Como central PBX se ha escogido las IP-PBX, ya que en la actualidad todo gira en torno a Internet, aparte de ser económico ya que usa la misma infraestructura para transportar voz y datos, así como también el costo del mantenimiento es mucho menor en comparación si se tuvieran los equipos de una PBX tradicional. Una IP-PBX requiere menos personal que lo maneje, esto representa una reducción en gastos de operación, administración y mantenimiento. Para el enrutador inalámbrico se eligió Asterisk puro, debido a las limitaciones de espacio en los enrutadores. Para el servidor tradicional se eligió Elastix, la cual se encuentra basada en Asterisk pero es más amigable para el usuario, ya que cuenta con una interfaz web para su fácil administración.

# CAPÍTULO 3

## **3. Diseño de la Solución.**

### **3.1 Dispositivos que conforman la red inalámbrica Mesh.**

La red inalámbrica que nos permitirá realizar la comparación de estos dos sistemas, está conformada principalmente por: los enrutadores inalámbricos, el servidor, y las computadoras que serán los clientes de la red. A continuación presentamos un detalle de las principales características de estos dispositivos.

#### **Enrutadores Inalámbricos**

En la actualidad tenemos una amplia gama de marcas y modelos para escoger, pero en ésta ocasión hemos optado por utilizar un enrutador de la marca Cisco. El modelo seleccionado es el WRT160NL que pertenece a la familia de Linksys, y entre sus características principales tenemos:

Tiene una velocidad inalámbrica rápida para aplicaciones que consumen un gran ancho de banda, como transmisión de vídeos o intercambio de archivos. La principal característica de estos enrutadores es que pueden funcionar con distribuciones Linux, lo cual es de gran importancia para la ejecución de este proyecto, ya que sobre ésta se podrá instalar la IP-PBX Asterisk. También cuenta con dos conectores R-SMA para las antenas externas, un puerto para Internet, cuatro puertos Ethernet y un puerto USB 2.0, el cual permite usar dispositivos de almacenamiento externo, el mismo que se usó para la expansión de la memoria Flash ya que este enrutador solo cuenta con 8 Mb de memoria Flash. Además cuenta con 32 Mb de DDRAM y un procesador de 400 MHz



Fuente: <http://www.linksysbycisco.com>

**Figura 3-1** Enrutador WRT160NL

Los enrutadores WRT160NL soportan los estándares 802.3, 802.3u, 802.11b, 802.11g, 802.11n que nos garantiza grandes velocidades de transferencia. Es compatible con la encriptación de hasta 128 bits, y soporta diferentes sistemas de archivos para el almacenamiento USB como: FAT16, FAT32 y NTFS.

### **Servidor**

En la tabla I se detallan las especificaciones del servidor tradicional que se uso para realizar el comparativo de este proyecto.

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
CPU	Intel ® Celeron ® CPU2.00 GHz
Disco Duro	80 GB
Memoria RAM	512 MB
Sistema Operativo	Centos 5

**Tabla I – Especificaciones del Servidor Tradicional**

### Clientes de la Red

En la tabla II se detallan las características de los clientes de la red, que son tres computadoras portátiles que fueron usadas para realizar las pruebas para este análisis.

<b>Clientes</b>	<b>CPU</b>	<b>Memoria RAM</b>	<b>Disco Duro</b>	<b>Sistema Operativo</b>
Portátil HP	Intel ® Core (TM) Duo 2 GHz	4 GB	350 GB	Windows 7
Portátil HP	AMD Turion (TM) 1.6 GHz	3 GB	120 GB	Windows 7
Portátil TOSHIBA	Intel Atom 1.66Ghz	1GB	150 GB	Windows XP

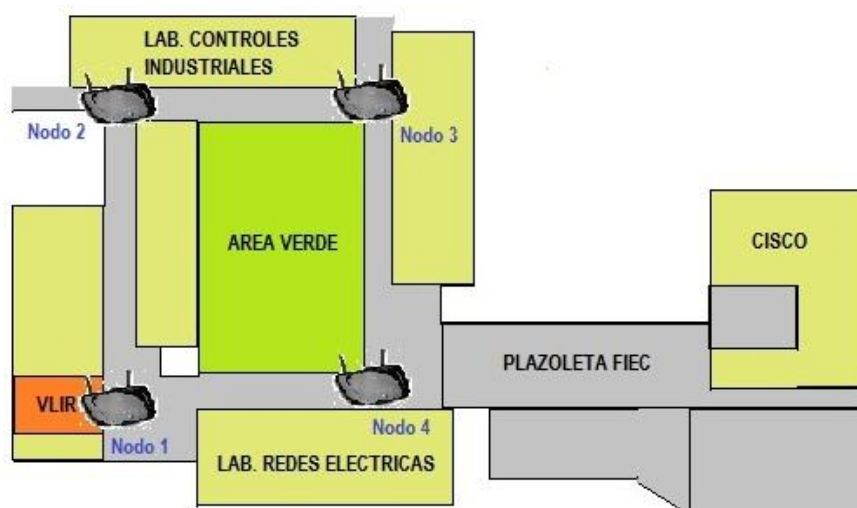
**Tabla II – Especificaciones de Clientes**

### 3.2 Esquema de la red inalámbrica Mesh en la FIEC

La red inalámbrica mesh consta de cuatro nodos los cuales se ubicaron en las instalaciones de la FIEC según el esquema de la Figura 3-2.

El nodo uno, el cual fue configurado como servidor inalámbrico se lo ubicó afuera del Laboratorio de Comunicaciones Móviles, los nodos

dos y tres se encontraron afuera del laboratorio de maquinarias eléctricas y finalmente el nodo cinco en las afueras del laboratorio de redes eléctricas.



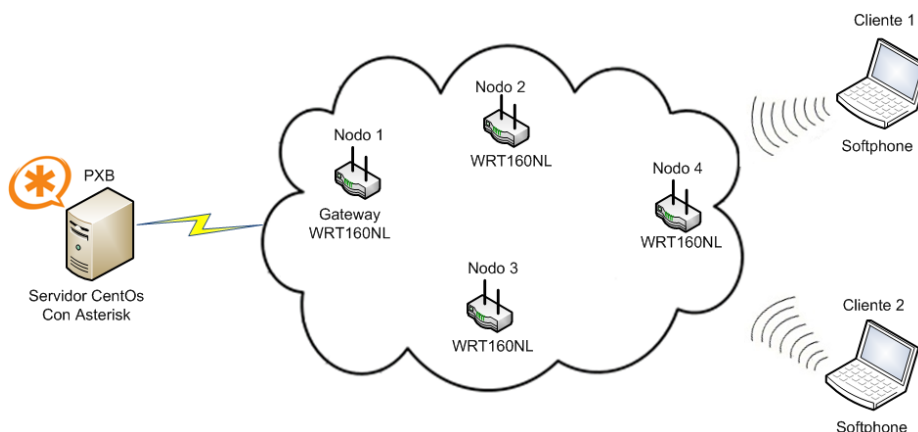
**Figura 3-2** Esquema de la Red Mesh en la FIEC



**Figura 3-3** Vista Satelital de la Red Mesh en la FIEC

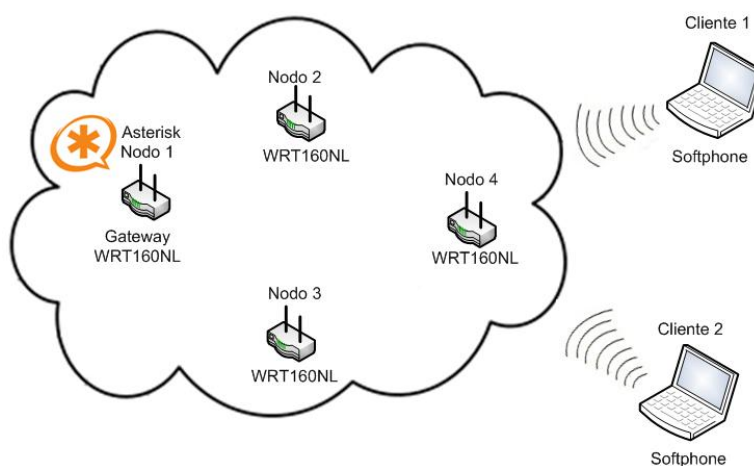
### Esquema de las IP-PBX a comparar.

La Figura 3-4 muestra la red Mesh con los enrutadores, en donde el nodo 1 es la puerta de salida de la red, observamos también el servidor Asterisk tradicional y los clientes de la red.



**Figura 3-4** Red Mesh con IP-PBX en servidor tradicional.

La Figura 3-5 muestra la red Mesh con los enrutadores, el nodo 1 el cual es el servidor Asterisk inalámbrico y los clientes de la red.



**Figura 3-5** Red Mesh con IP-PBX en enrutador inalámbrico.

### **3.3 Parámetros para la comparación y tipos de mediciones.**

Los parámetros que se utilizaron para este análisis son: retardo, ancho de banda y jitter, los cuales nos ayudan a establecer una diferencia entre los dos sistemas a comparar.

#### **Retardo**

Se conoce como retardo a la demora de tiempo entre la emisión y recepción de un paquete. Existen varios parámetros que influyen en el aumento o disminución del mismo, tales como la distancia por la que los datos deben viajar, el tamaño de los paquetes, y el número de redes que existen entre los terminales.

En una red de telefonía VoIP mientras menor sea la latencia mejor será la calidad de las llamadas. La voz es un servicio en tiempo real, sensible a la latencia y a los retardos. El retardo no afecta directamente a la calidad de la conversación, pero el ritmo o carácter de la misma. Con valores por debajo de 100ms, los usuarios no aprecian el retardo, entre 100ms y 300ms, los usuarios notan una ligera duda en la respuesta de la otra persona. Por encima de 300ms, el retardo es obvio entre los integrantes de una conversación y empiezan ceder el turno para hablar para evitar interrupciones.



### **Ancho de Banda**

Es la cantidad de información o paquetes de datos que pueden ser enviados a través de la red en un período de tiempo dado, y se mide en bits por segundo (Kbps, Mbps, Gbps).

Éste parámetro es compartido entre la VoIP y otras aplicaciones de datos, lo cual es importante para reportar la cantidad de ancho de banda que se necesita para un óptimo funcionamiento de estas aplicaciones.

La cantidad de ancho de banda requerido para VoIP depende de muchos factores, incluyendo:

- Número simultáneo de llamadas.
- Códec empleado.
- Tamaño de la trama.
- Protocolo de red de datos usado.

Incrementando el ancho de banda sobre conexiones de datos pueden resolverse algunos problemas de calidad de voz, lo cual en muchas ocasiones no se consigue debido a las limitaciones físicas del enlace o a la economía de la empresa.

**Jitter**

Es la variación en el retardo de los paquetes. Se lo puede definir como la variación de una métrica por ejemplo, el retardo, respecto a otra métrica tomada como referencia, por ejemplo el retardo medio o mínimo.

Este parámetro tiene usos importantes como ayudar a dimensionar el búfer para aplicaciones que requieren la entrega regular de paquetes como voz y video. También nos ayuda a determinar la dinámica de las colas dentro de una red o router, donde los cambios del jitter pueden ser debido a cambios en la longitud de la cola en el enlace dado o en una combinación de enlaces.

# CAPÍTULO 4

## 4. Implementación y pruebas.

### 4.1 Instalación y configuración de dispositivos.

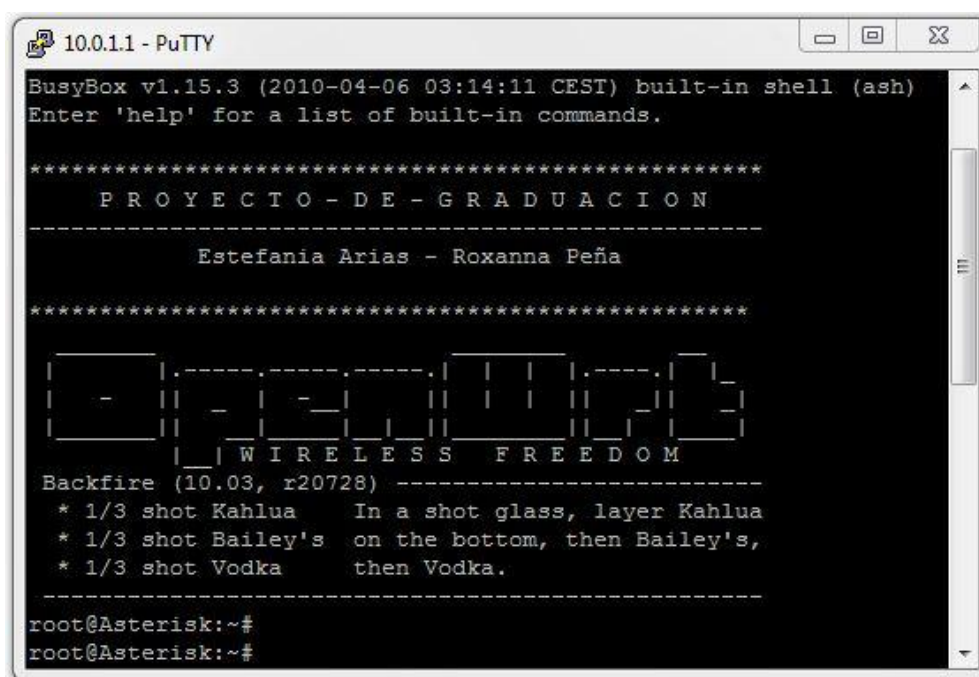
La red usada en este proyecto está conformada principalmente por tres tipos de dispositivos: enrutadores inalámbricos, servidor tradicional y los clientes de la red, cuyas configuraciones se detallan a continuación:

#### **Configuración de Enrutadores Inalámbricos.**

La configuración de los enrutadores consistió en reemplazar el firmware original de fábrica, por uno de código abierto que nos permitirá la instalación de Asterisk en estos enrutadores.

La distribución utilizada se llama OpenWrt (Anexo A) la cual se describe como una distribución basada en Linux para dispositivos embebidos.

Existen varias versiones pero para este proyecto hemos utilizado la versión Backfire 10.03 revisión 3, con sistema de archivos jffs2. El detalle de los pasos para la instalación y configuración lo podemos encontrar en el Anexo B.



```
10.0.11 - PuTTY
BusyBox v1.15.3 (2010-04-06 03:14:11 CEST) built-in shell (ash)
Enter 'help' for a list of built-in commands.

*****
      P R O Y E C T O - D E - G R A D U A C I O N
-----
      Estefania Arias - Roxanna Peña
*****

|_| .-.-.-.-.-|_| .-.-.-.-.-|_| .-.-.-.-.-|_| .-.-.-.-.-|_|
|_| W I R E L E S S   F R E E D O M
Backfire (10.03, r20728) -----
* 1/3 shot Kahlua      In a shot glass, layer Kahlua
* 1/3 shot Bailey's  on the bottom, then Bailey's,
* 1/3 shot Vodka     then Vodka.
-----

root@Asterisk:~#
root@Asterisk:~#
```

**Figura 4-1** Instalación de OpenWrt

### **Configuración de OLSR**

De la misma manera se instaló y configuró el protocolo de enrutamiento OLSR en todos los enrutadores inalámbricos, para lo cual se descarga el paquete correspondiente de los repositorios de OpenWrt, y luego se modifican los archivos de configuración ubicados

en `/etc/olsrd.conf`, de acuerdo a las necesidades de nuestra red. Entre los principales parámetros a configurar tenemos: Versión IP, Intervalos de difusión de mensajes “Hello”, Calidad del Enlace, además se configura la red que va a ser difundida en toda la red. En nuestro caso difundimos la IP del enrutador correspondiente al Nodo 1. Los archivos de configuración se detallan en Anexo C.

La configuración de red usada en los enrutadores inalámbricos se detalla en la Tabla III, cuyas direcciones IP se anuncian a los demás enrutadores mediante el enrutamiento OLSR, para que tengan conectividad con todos los nodos de la red.

<b>Enrutador</b>	<b>Dirección IP</b>	<b>Mascara</b>	<b>Gateway</b>
Nodo 1	10.0.1.1	255.255.255.0	-----
Nodo 2	10.0.1.2	255.255.255.0	10.0.1.1
Nodo 3	10.0.1.3	255.255.255.0	10.0.1.1
Nodo 4	10.0.1.4	255.255.255.0	10.0.1.1

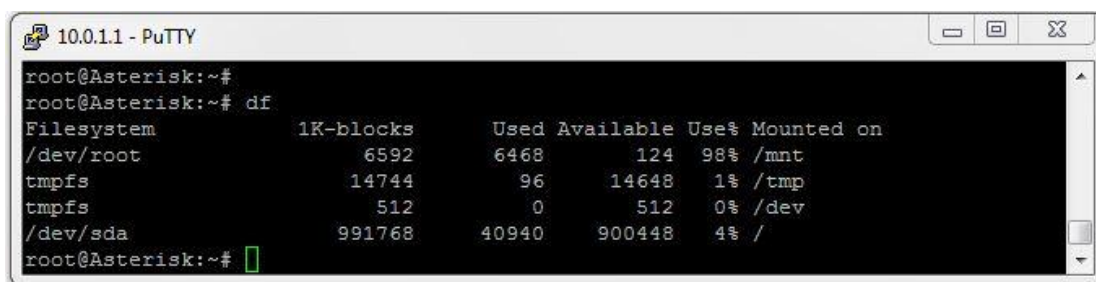
**Tabla III** – Configuraciones de red en enrutadores inalámbricos.

## **Instalación de Asterisk**

Adicionalmente a las configuraciones ya mencionadas, en el enrutador principal que será el servidor inalámbrico instalamos Asterisk. Gracias a las facilidades de OpenWrt para su instalación utilizamos los comandos disponibles, descargamos el paquete y sus dependencias desde el repositorio de OpenWrt. Pero antes de esto es preciso expandir la capacidad de almacenamiento del enrutador puesto que el espacio disponible no es suficiente para la instalación de Asterisk.

### ***Adaptación de Memoria USB en el enrutador inalámbrico***

El modelo de enrutador que seleccionamos para este proyecto dispone de un puerto USB, en el cual adaptamos una memoria USB de 1 GB de capacidad. Para que el enrutador reconozca este dispositivo como parte de su almacenamiento, es necesario montar el sistema de archivos en la memoria USB, de esta manera al arrancar el sistema lo hará desde la memoria USB. Esto se logra mediante la instalación de varias librerías que eran requeridas y de algunas modificaciones en el sistema de arranque. La Figura 4-2 muestra el espacio disponible después de la adaptación de la memoria USB. Los detalles de esta instalación lo encontramos en el Anexo D.



```

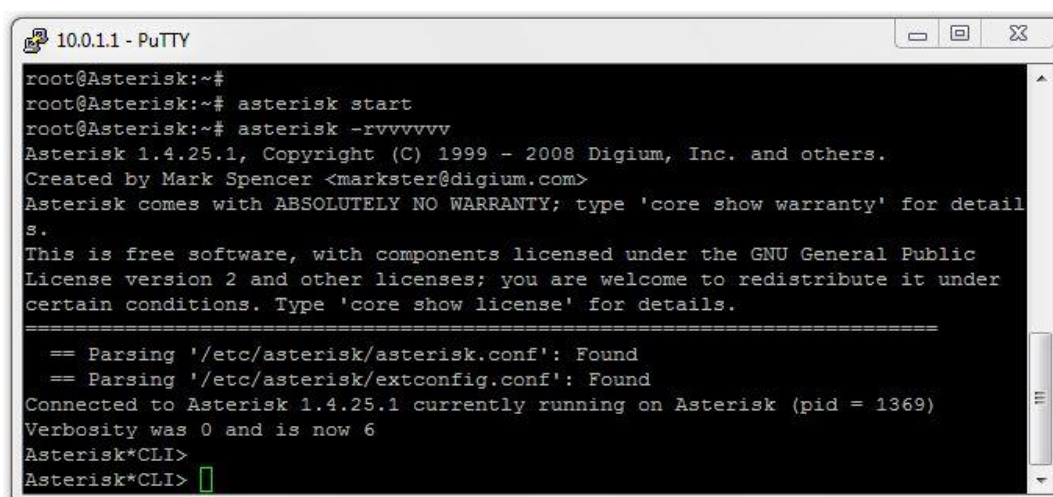
10.0.1.1 - PuTTY
root@Asterisk:~#
root@Asterisk:~# df
Filesystem            1K-blocks      Used Available Use% Mounted on
/dev/root              6592          6468      124   98% /mnt
tmpfs                 14744           96    14648    1% /tmp
tmpfs                  512             0       512    0% /dev
/dev/sda              991768        40940   900448    4% /
root@Asterisk:~#

```

**Figura 4-2** Espacio disponible en el enrutador.

### Configuración de Asterisk

Los archivos para la configuración de Asterisk, los clientes SIP, y el plan de marcado están localizados en la ruta **/etc/Asterisk**. Se configuraron 3 clientes SIP en el archivo *sip.conf* y un plan de marcado básico en el archivo *extensions.conf*. Las configuraciones completas de estos archivos están disponibles en el Anexo E.



```

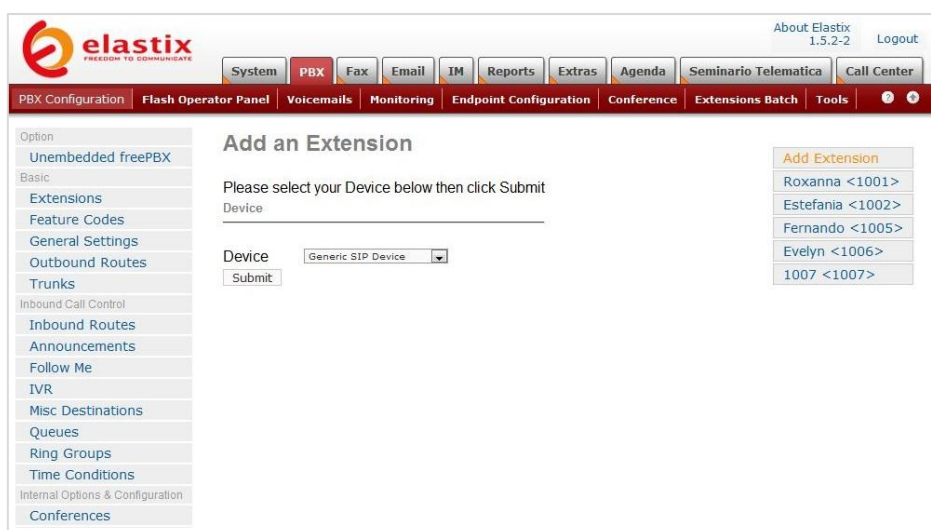
10.0.1.1 - PuTTY
root@Asterisk:~#
root@Asterisk:~# asterisk start
root@Asterisk:~# asterisk -rvvvvvv
Asterisk 1.4.25.1, Copyright (C) 1999 - 2008 Digium, Inc. and others.
Created by Mark Spencer <markster@digium.com>
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for details.
This is free software, with components licensed under the GNU General Public
License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it under
certain conditions. Type 'core show license' for details.
=====
== Parsing '/etc/asterisk/asterisk.conf': Found
== Parsing '/etc/asterisk/extconfig.conf': Found
Connected to Asterisk 1.4.25.1 currently running on Asterisk (pid = 1369)
Verbosity was 0 and is now 6
Asterisk*CLI>
Asterisk*CLI>

```

**Figura 4-3** Asterisk en OpenWrt

## Instalación y configuración del Servidor Tradicional

Como se había mencionado para la PBX en el servidor tradicional utilizaremos Elastix. Su instalación es muy sencilla, basta con insertar el disco de instalación y seguir con el asistente de instalación, el cual nos va a pedir que configuremos algunas cosas como: el tipo de teclado que tiene el computador, la zona horaria y la contraseña para ingresar a administrar Elastix. Una guía completa de la instalación lo encontramos en el Anexo F.



**Figura 4-4** Elastix

La ventaja de Elastix es que cuenta con una interfaz grafica que permite una fácil configuración de las cuentas SIP, en la Figura 4-5 se detalla la configuración de las cuentas SIP que se crearon en Elastix.



Extension: 1001

[Delete Extension 1001](#)  
[Add Follow Me Settings](#)

Edit Extension

---

Display Name   
 CID Num Alias   
 SIP Alias

Device Options

This device uses sip technology.

secret   
 dtmfmode   
 canreinvite   
 context   
 host   
 type   
 nat   
 port   
 qualify   
 callgroup   
 pickupgroup   
 disallow   
 allow   
 dial   
 accountcode   
 mailbox

**Figura 4-5** Extensiones SIP en Elastix

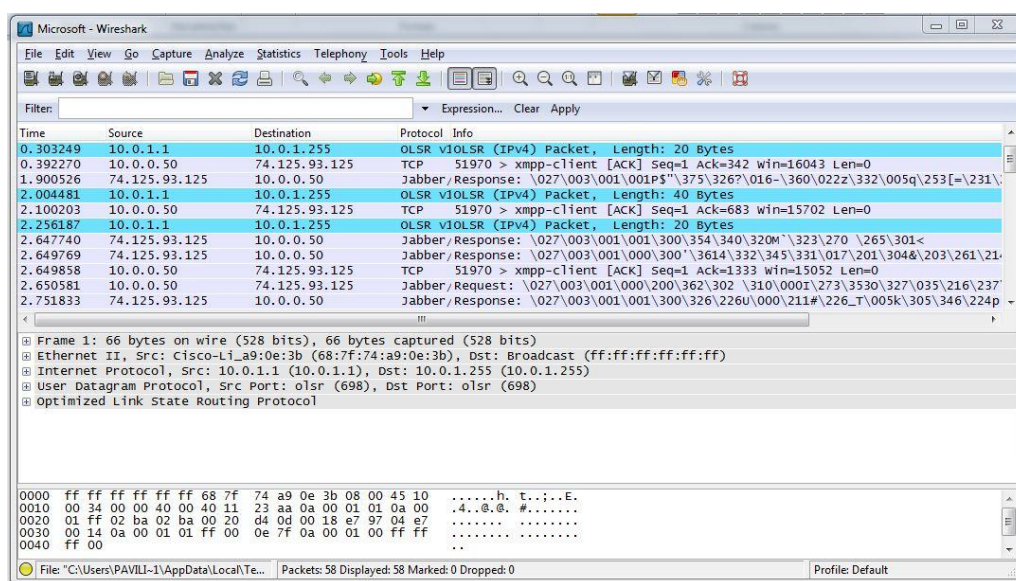
### Configuración de Clientes

En los clientes de la red se configuró los parámetros de red de acuerdo a la Tabla V.

Cliente	IP	Mascara	Gateway
Laptop HP	10.0.0.90	255.255.255.0	10.0.0.5
Laptop HP	10.0.0.50	255.255.255.0	10.0.0.5
Laptop TOSHIBA	10.0.0.22	255.255.255.0	10.0.0.5

**Tabla IV** - Configuración de clientes en la red

Además se instaló dos aplicaciones necesarias para las pruebas, una de ellas es Wireshark, que es un analizador de protocolos de red que captura todos los paquetes que se envían y transmiten en toda la red. Wireshark además cuenta con una interfaz grafica, en el que se puede filtrar paquetes para analizar cómo trabaja la red.



**Figura 4-6** Analizador de Protocolos de Red Wireshark

El Softphone X-lite es una aplicación que ayuda a crear comunicaciones de voz con otros clientes de la red, este utiliza el protocolo SIP. Esta aplicación se la usó para realizar llamadas desde un cliente a otro, para ello se configuraron parámetros los cuales se

observan en la parte izquierda de la Figura 4-74, y en la derecha se observa al softphone registrado en la PBX-IP.



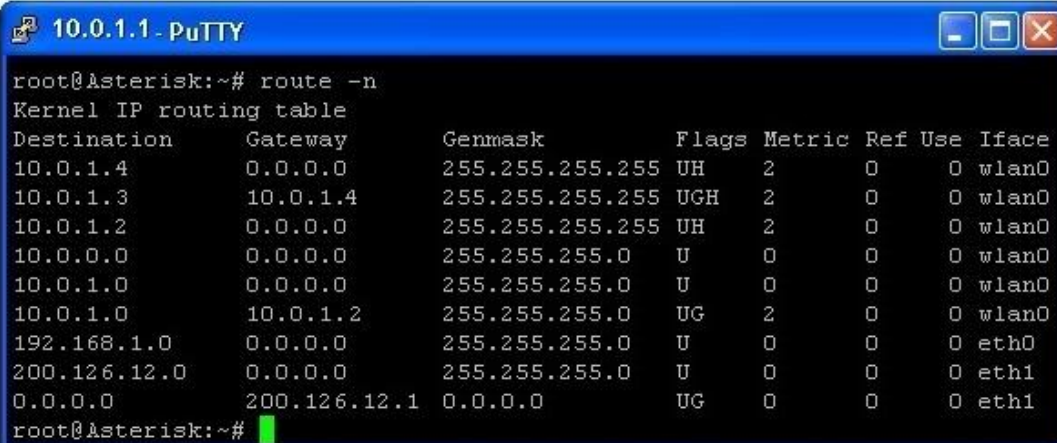
Figura 4-7 Softphone X-lite

## 4.2 Verificación del funcionamiento del enrutamiento en la red inalámbrica Mesh.

Las tablas de enrutamiento almacenan las rutas a los diferentes nodos de la red, para que los paquetes puedan llegar a su destino por la mejor ruta. En las tablas de enrutamiento se muestran los dispositivos que se conectan directamente, así como también, los dispositivos que se encuentran fuera del alcance pero que se puede acceder a ellos a través de otros nodos. Todas las rutas de la tabla de

enrutamiento son aprendidas o agregadas al encender los enrutadores, y se van actualizando periódicamente ya que cuentan con el protocolo de enrutamiento OLSR.

En la Figura 4-8 se muestra la tabla de enrutamiento del nodo 1, la cual se la obtiene al ejecutar el comando `route -n`, aquí podemos observar las diferentes rutas hacia los nodos de la red mesh y por cual interfaz se encuentran conectados. El nodo 1 puede transmitir información directamente al dispositivo con IP 10.0.1.2 y 10.0.1.4 los cuales representan al nodo 2 y 4 respectivamente. Al dispositivo con IP 10.0.1.3 que es el nodo 3, puede comunicarse a través de nodo 4, cuya dirección IP es la 10.0.1.4. Las tablas de enrutamiento de todos los enrutadores que conforman la red mesh se encuentran en el Anexo G.



```

root@Asterisk:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway         Genmask         Flags Metric Ref Use Iface
10.0.1.4         0.0.0.0        255.255.255.255 UH    2     0   0 wlan0
10.0.1.3         10.0.1.4       255.255.255.255 UGH   2     0   0 wlan0
10.0.1.2         0.0.0.0        255.255.255.255 UH    2     0   0 wlan0
10.0.0.0         0.0.0.0        255.255.255.0   U     0     0   0 wlan0
10.0.1.0         0.0.0.0        255.255.255.0   U     0     0   0 wlan0
10.0.1.0         10.0.1.2       255.255.255.0   UG    2     0   0 wlan0
192.168.1.0     0.0.0.0        255.255.255.0   U     0     0   0 eth0
200.126.12.0    0.0.0.0        255.255.255.0   U     0     0   0 eth1
0.0.0.0         200.126.12.1  0.0.0.0         UG    0     0   0 eth1
root@Asterisk:~#

```

**Figura 4-8** Tabla de Enrutamiento Nodo 1

### 4.3 Pruebas de Estrés

La prueba de estrés nos permite probar la capacidad de la PBX, es decir cuántas llamadas simultáneas soporta antes de que una falle. La prueba consiste en enviarle un flujo de llamadas cada cierto tiempo para probar su capacidad, esto lo hacemos con el software SIPp. También se usó la herramienta SAR para conocer el rendimiento del CPU de cada servidor.

#### Sipp

Es una herramienta de código abierto que nos ayuda a probar la capacidad de nuestro servidor, mediante la generación de tráfico para el protocolo SIP. Establece y libera múltiples llamadas con los métodos INVITE y BYE. También puede leer archivos XML de escenarios. Cuenta con una dinámica visualización de las estadísticas sobre las pruebas.



**Figura 4-9** SIPp: Herramienta de prueba generadora de tráfico

## **SAR**

System Activity Report o informe de la actividad del sistema, es una herramienta, disponible dentro del paquete sysstat de Linux. Nos permite crear informes en tiempo real para conocer el porcentaje de utilización del CPU, el de entrada y salida, el de no utilización y sistema, sólo con indicar cada cuántos segundos se quiere el informe y el número de informes.

## **Escenario de la Prueba**

En esta prueba participa un cliente en el cual se ha instalado la herramienta SIPp, mediante el cual se enviarán el flujo de llamadas. Para el uso de SIPp se requiere un escenario que simule el proceso de establecimiento de la llamada, el cual debe estar en formato XML. SIPp proporciona varios escenarios integrados en su configuración para escenarios de Clientes UAC, y de servidores UAS. Para este caso hemos optado por el uso de un escenario personalizado ya que además de un escenario cliente, enviaremos un flujo de paquetes RTP que representan una conversación.

En la Figura 4-10 observamos los mensajes de señalización SIP que son enviados al servidor del escenario UAC con envío de paquetes

RTP. El archivo XML del escenario UAC completo lo encontramos en el Anexo H.

```

SIPp UAC Remote
| (1) INVITE |
|-----> |
| (2) 100 (optional) |
|<----- |
| (3) 180 (optional) |
|<----- |
| (4) 200 |
|<----- |
| (5) ACK |
|-----> |
| |
| (6) RTP send (8s) |
|===== > |
| |
| (7) RFC2833 DIGIT 1 |
|===== > |
| |
| (8) BYE |
|-----> |
| (9) 200 |
|<----- |

```

**Figura 4-10** Escenario UAC con envío de flujo RTP

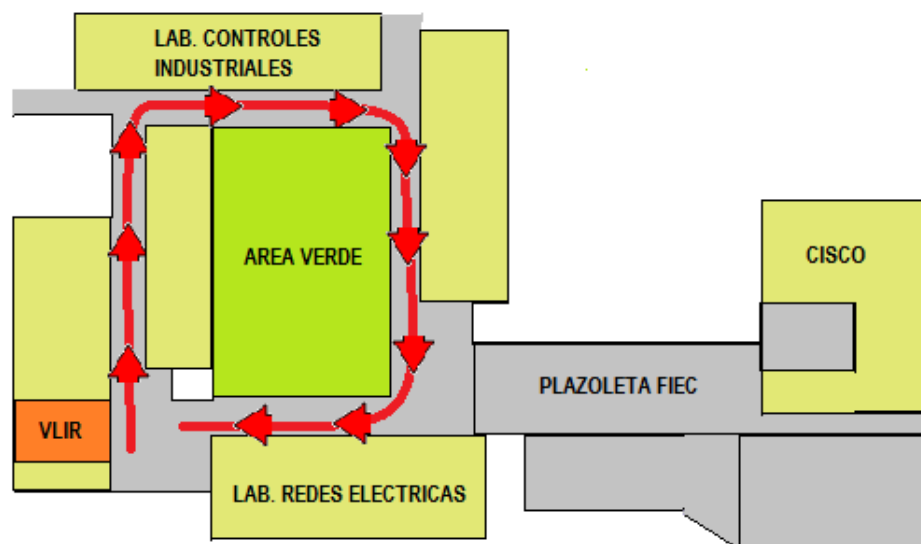
#### 4.4 Pruebas de Movilidad y Calidad de Servicio.

La prueba de movilidad se la realizó en las instalaciones de la FIEC, en el área del laboratorio de redes eléctricas, electrónica y controles industriales.

La prueba de movilidad consiste en: registrar dos clientes en la red, los cuales registran los softphone x-lite en el servidor Asterisk sea a él enrutador inalámbrico o a el servidor tradicional, se establece la llamada entre los clientes registrados en el servidor Asterisk y se

capturan paquetes con el software Wireshark, uno de los clientes permanece en las afuera del Laboratorio de comunicaciones móviles (cliente estático ), mientras el otro cliente realiza el recorrido (cliente móvil) mostrado en la Figura 4-11 al llegar al punto inicial (laboratorio de comunicaciones móviles) se corta la llamada y se detiene la captura de los paquetes.

Las capturas realizadas en esta prueba tanto para el servidor Asterisk tradicional como para el servidor Asterisk inalámbrico nos van a ayudar a realizar el análisis comparativo en términos de calidad de servicio, ya que nos permiten conocer el retardo, el jitter y el ancho de banda.



**Figura 4-11** Recorrido de la prueba de movilidad



# CAPÍTULO 5

## 5. Resultados

### 5.1 Reporte de Prueba de Estrés

La prueba de estrés nos permitió comparar la capacidad de llamadas que soporta cada servidor Asterisk para lo cual se uso el programa Sipp, así como para conocer el rendimiento que usaron los servidores al realizar esta la prueba, esto se hizo con ayuda del programa SAR.

La Tabla V muestra el resultado de la prueba de Estrés en el cual se envió 150 llamadas en total, 50 llamadas cada 2 segundos. El Servidor Asterisk Inalámbrico obtuvo 90 llamadas exitosas, 60 llamadas fallidas y un 40% de bloqueo. El servidor Asterisk tradicional obtuvo 131 llamadas exitosas, 19 llamadas fallidas y un 13% de bloqueo.

<b>Servidor Asterisk</b>	<b>Llamadas Exitosas</b>	<b>Llamadas Fallidas</b>	<b>% de Bloqueo</b>
Inalámbrico	90	60	40
Tradicional	131	19	13

**Tabla V** – Resultado de Estrés usando SIPp

En la Figura 5.1 se muestra el reporte de rendimiento del servidor Asterisk Inalámbrico el cual fue obtenido con el programa SAR al momento de realizar la prueba de Estrés, en el cual podemos notar que el porcentaje inutilizable antes de la prueba está entre el 99-97 % y al momento de empezar la prueba de estrés este porcentaje baja hasta llegar 0%, al contrario del porcentaje de sistema que antes de la prueba está entre 0-1% y durante la prueba este porcentaje va aumentando desde 6-70 % y se mantiene en un promedio de 52,12 % hasta terminar la prueba en donde disminuye.

CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
all	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	97.00
all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
all	13.00	0.00	6.00	0.00	0.00	81.00
all	27.00	0.00	19.00	0.00	0.00	54.00
all	35.00	0.00	36.00	3.00	0.00	26.00
all	39.00	0.00	61.00	0.00	0.00	0.00
all	29.90	0.00	70.10	0.00	0.00	0.00
all	36.00	0.00	64.00	0.00	0.00	0.00
all	35.75	0.00	64.25	0.00	0.00	0.00
all	30.00	0.00	70.00	0.00	0.00	0.00
all	38.50	0.00	61.50	0.00	0.00	0.00
all	31.34	0.00	68.66	0.00	0.00	0.00
all	33.02	0.00	66.98	0.00	0.00	0.00
all	32.35	0.00	67.65	0.00	0.00	0.00
all	38.42	0.00	61.58	0.00	0.00	0.00
all	34.56	0.00	65.44	0.00	0.00	0.00
all	32.00	0.00	68.00	0.00	0.00	0.00
all	38.31	0.00	61.69	0.00	0.00	0.00
all	35.19	0.00	64.81	0.00	0.00	0.00
all	31.55	0.00	68.45	0.00	0.00	0.00
all	30.00	0.00	70.00	0.00	0.00	0.00
all	33.33	0.00	66.67	0.00	0.00	0.00
all	34.00	0.00	66.00	0.00	0.00	0.00
all	31.13	0.00	68.87	0.00	0.00	0.00
all	27.60	0.00	72.40	0.00	0.00	0.00
all	39.00	0.00	61.00	0.00	0.00	0.00
all	30.00	0.00	48.00	0.00	0.00	22.00
all	3.00	0.00	13.00	0.00	0.00	84.00
all	5.00	0.00	7.00	0.00	0.00	88.00
all	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	93.00
all	4.00	0.00	6.00	1.00	0.00	89.00
all	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	93.00
all	1.00	0.00	3.00	0.00	0.00	96.00
all	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00	94.00
all	1.00	0.00	7.00	0.00	0.00	92.00
all	3.00	0.00	15.00	0.00	0.00	82.00
all	3.00	0.00	12.00	0.00	0.00	85.00

**Figura 5-1** Reporte de rendimiento del servidor Asterisk Inalámbrico.

Así también en la Figura 5.2 se muestra el reporte de rendimiento del servidor Asterisk Inalámbrico el cual fue obtenido con el programa SAR al momento de realizar la prueba de Estrés, en el cual podemos notar que el porcentaje inutilizable antes de la prueba está entre el 54-100 % y al momento de empezar la prueba de estrés este

porcentaje baja hasta llegar 0%, al contrario del porcentaje de sistema que antes de la prueba está entre 0-1.65% y durante la prueba este porcentaje va aumentando desde 9-55.45 % y se mantiene en un promedio de 33,46 % hasta terminar la prueba en donde disminuye.

CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
all	98.06	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00
all	46.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00
all	0.99	0.00	0.99	0.00	0.00	98.02
all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
all	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
all	1.96	0.00	1.96	0.98	0.00	95.10
all	20.39	0.00	9.71	5.83	0.00	64.08
all	34.00	0.00	22.00	0.00	0.00	44.00
all	36.00	0.00	23.00	0.00	0.00	41.00
all	59.80	0.00	40.20	0.00	0.00	0.00
all	63.37	0.00	36.63	0.00	0.00	0.00
all	57.08	0.00	42.92	0.00	0.00	0.00
all	59.17	0.00	40.83	0.00	0.00	0.00
all	54.00	0.00	46.00	0.00	0.00	0.00
all	56.44	0.00	43.56	0.00	0.00	0.00
all	46.23	0.00	53.77	0.00	0.00	0.00
all	54.00	0.00	46.00	0.00	0.00	0.00
all	58.00	0.00	42.00	0.00	0.00	0.00
all	44.55	0.00	55.45	0.00	0.00	0.00
all	55.45	0.00	44.55	0.00	0.00	0.00
all	50.50	0.00	49.50	0.00	0.00	0.00
all	57.78	0.00	42.22	0.00	0.00	0.00
all	66.31	0.00	33.69	0.00	0.00	0.00
all	71.84	0.00	28.16	0.00	0.00	0.00
all	75.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00
all	67.68	0.00	32.32	0.00	0.00	0.00
all	70.30	0.00	29.70	0.00	0.00	0.00
all	60.40	0.00	39.60	0.00	0.00	0.00
all	20.20	0.00	31.31	0.00	0.00	48.48
all	29.70	0.00	32.67	0.00	0.00	37.62
all	33.33	0.00	27.27	0.00	0.00	39.39
all	17.82	0.00	19.80	0.00	0.00	62.38
all	39.00	0.00	30.00	0.00	0.00	31.00
all	8.91	0.00	9.90	0.00	0.00	81.19
all	19.19	0.00	14.14	1.01	0.00	65.66
all	45.00	0.00	12.00	0.00	0.00	43.00
all	3.96	0.00	4.95	0.00	0.00	91.09
all	5.94	0.00	3.96	0.00	0.00	90.10
all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
all	2.02	0.00	1.01	0.00	0.00	96.97
all	1.98	0.00	1.98	0.00	0.00	96.04
all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00

**Figura 5-2** Reporte de rendimiento del servidor Asterisk tradicional.

## 5.2 Reporte de Prueba de Movilidad y Calidad de Servicio

Las capturas realizadas en la prueba de movilidad ayudaron a comparar a los dos sistemas en cuanto a la calidad de servicios, es decir en términos de ancho de banda, retardo, jitter cuyos valores promedios obtenidos fueron analizados con los permitidos por la ITU para llamadas VoIP y determinar cuál de los dos sistemas Asterisk es el mejor, para posteriormente comprobar si la diferencia de medias tanto para el ancho de banda, retardo y jitter dicha se encuentran dentro del intervalo de confianza.

La ITU especifica valores máximos y mínimos para ancho de banda, retardo y jitter en llamadas VoIP, en donde el mínimo valor de ancho de banda es de 80 Kbps, si el ancho de banda es menor la voz podría escucharse robotizada. El máximo retardo es de 150 ms, si el retardo es más de 200 ms la comunicación sería imposible. El máximo de jitter en una llamada VoIP es de 20 ms, si este incrementa a 100 ms sería imposible la comunicación.

Los intervalos de confianza ayudaron a confirmar si un determinado valor se encuentra en el rango permitido de aceptación, los resultados de esta prueba fueron verificados, tal que la diferencia de medias de los dos sistemas (para cada uno de los términos) se deben encontrar

dentro del rango de aceptación del intervalo de confianza de diferencia de medias en el cual se uso un 95% de confianza. Todos los cálculos relacionados a los intervalos de confianza se encuentran en el Anexo I.

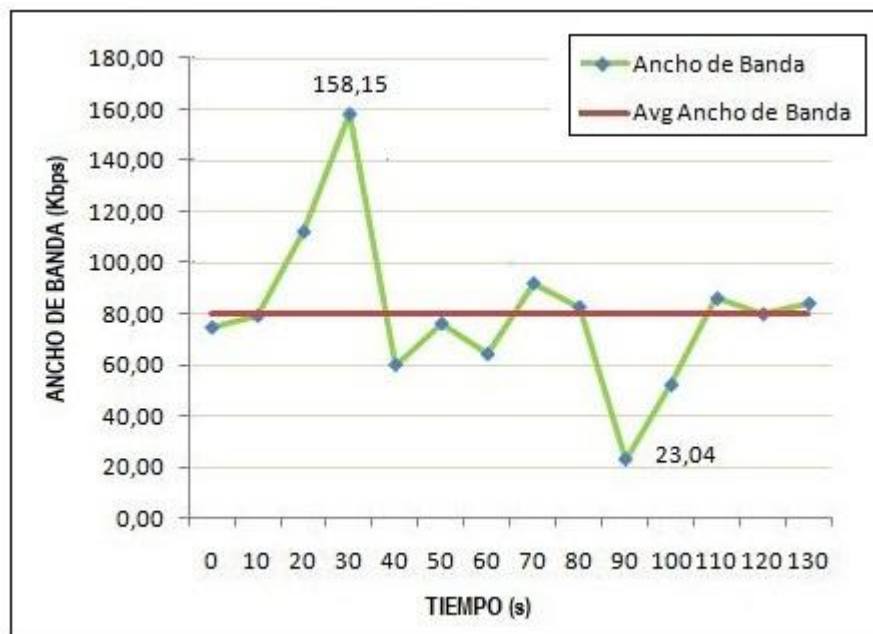
En la prueba de movilidad realizada en la red mesh con servidor Asterisk inalámbrico se realizo en un recorrido de 130 segundos y se capturo 5.181 paquetes RTP, mientras que para la red con servidor Asterisk tradicional se la realizo en un recorrido de 110 segundos y se capturo 5.752 paquetes RTP. Los resultados de la prueba de movilidad se muestran a continuación:

### **Ancho de banda**

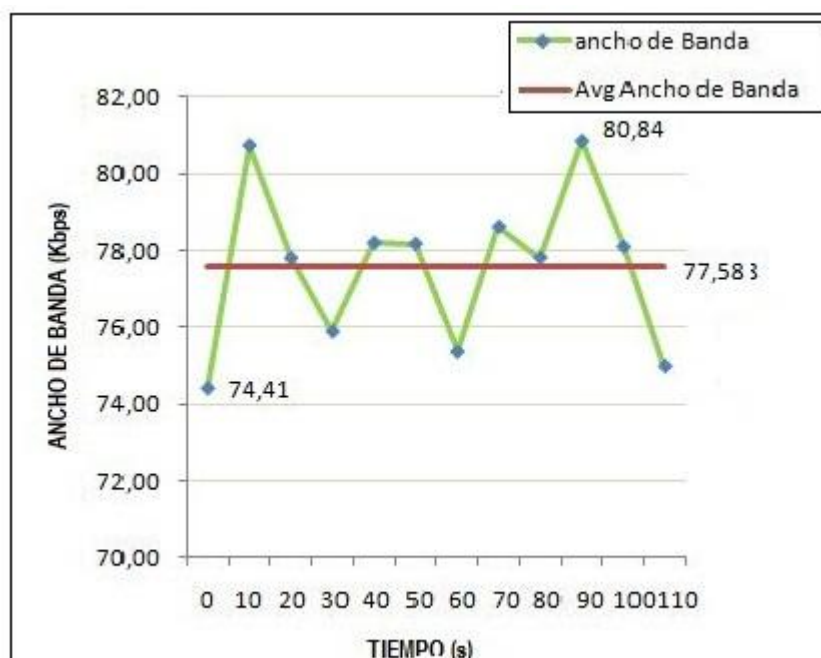
La figura 5.1 muestra como varía el ancho de banda en el servidor Asterisk inalámbrico con respecto al tiempo, cuyo promedio es de 80 Kbps, teniendo un máximo de 158.15 Kbps, un mínimo de 23.04 Kbps y una media de 85.67 Kbps La figura 5.2 muestra como varia el ancho de banda en el servidor Asterisk tradicional con respecto al tiempo, cuyo promedio es de 77.58 Kbps, con un máximo de 80.84 Kbps, un mínimo de 74.41 Kbps y una media de 77.62 Kbps

Según la ITU el valor mínimo permitido del ancho de banda para llamadas VoIP es de 80 Kbps, como podemos observar en las Figuras 5.1 y 5.2, el sistema con servidor Asterisk Inalámbrico se encuentra en el mínimo permitido mientras que el otro sistema se encuentra bajo el mínimo permitido.

La diferencia de medias entre los dos sistemas con respecto al ancho de banda es de 8.05 Kbps los cuales se encuentran dentro del intervalo de confianza  $-15.65 \text{ Kbps} \leq u1 - u2 \leq 21.03 \text{ Kbps}$ , en donde  $u1$  es la media del sistema con servidor Asterisk inalámbrico y  $u2$  es la media del sistema con servidor Asterisk tradicional. Con lo que se determina que el ancho de banda en el servidor Asterisk inalámbrico es mayor con respecto al ancho de banda del servidor Asterisk tradicional.



**Figura 5-3** Ancho de banda de la red mesh con servidor PBX-IP inalámbrico



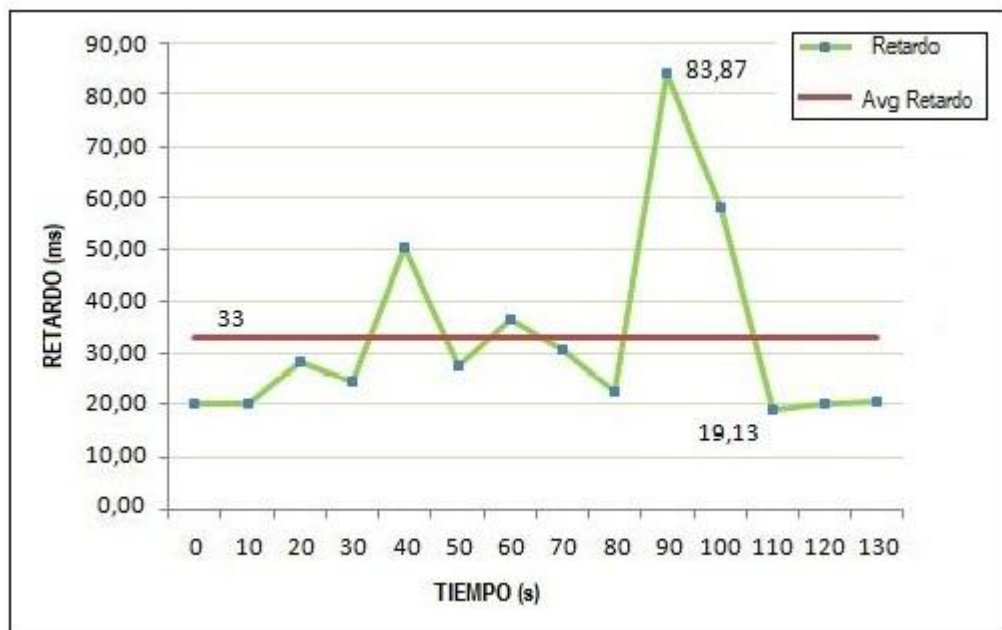
**Figura 5-4** Ancho de Banda de la red mesh con servidor PBX-IP tradicional.



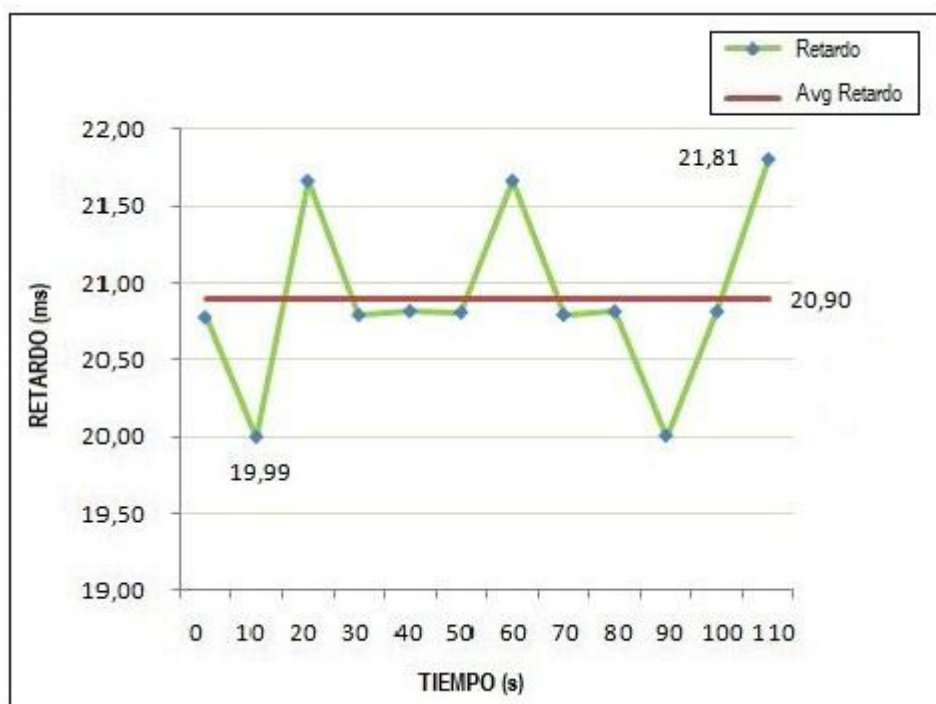
## Retardo

La figura 5.3 muestra como varia el retardo en el servidor Asterisk inalámbrico con respecto al tiempo, cuyo promedio es de 33 ms, teniendo un máximo de 83.87 ms, un mínimo de 19.13 ms y una media de 27.05 ms. La figura 5.4 muestra como varia el retardo en el servidor Asterisk tradicional con respecto al tiempo, cuyo promedio es de 20.90 ms, con un máximo de 21.81 ms, un mínimo de 19.99 ms y una media de 20.88 ms.

Los dos sistemas se encuentran por debajo del valor máximo de retardo permitido por la ITU para llamadas VoIP, el cual es de 150 ms. La diferencia de medias entre los dos sistemas con respecto al retardo es de 6.17 ms, el cual se encuentran dentro del intervalo de confianza  $-1.669 \text{ ms} \leq u_1 - u_2 \leq 24.371 \text{ ms}$ , donde  $u_1$  es la media del retardo de la red con servidor Asterisk inalámbrico y  $u_2$  es la media del retardo de la red con servidor Asterisk tradicional. Con lo que se determina que el retardo en el servidor Asterisk inalámbrico es mayor con respecto al retardo del servidor Asterisk tradicional.



**Figura 5-5** Retardo de la red mesh con servidor PBX-IP inalámbrico.



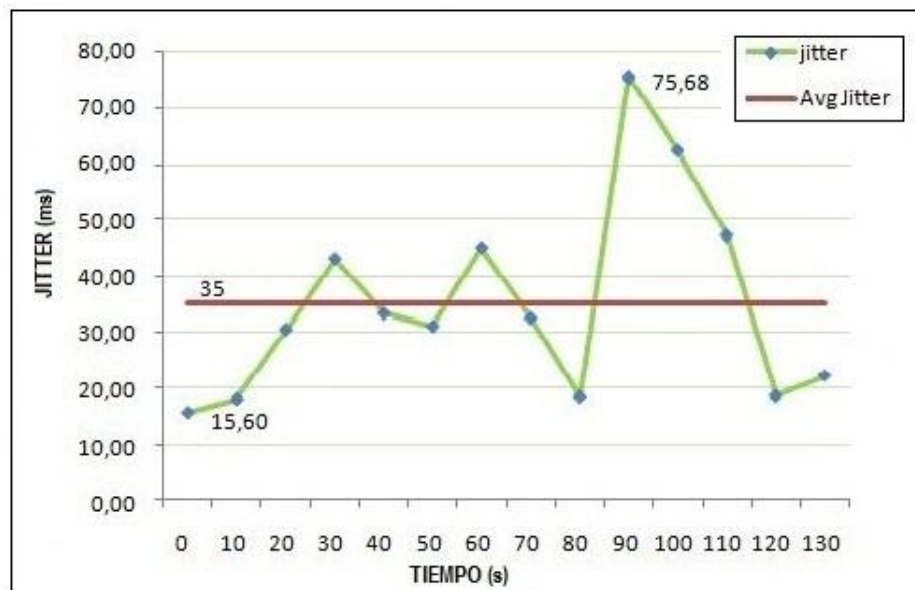
**Figura 5-6** Retardo de la red mesh con servidor PBX-IP tradicional.

## Jitter

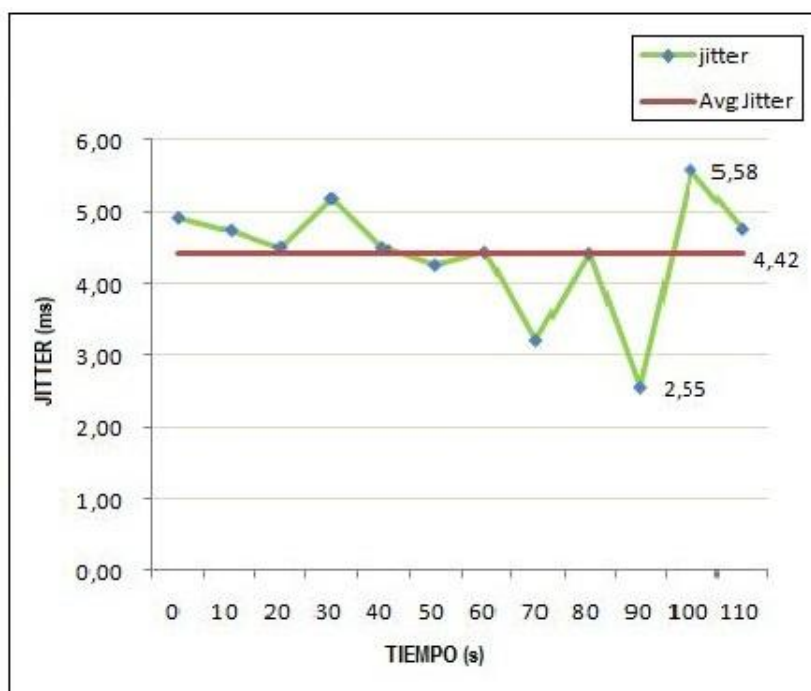
La figura 5.5 muestra como varia el jitter en el servidor Asterisk inalámbrico con respecto al tiempo, cuyo promedio es de 35 ms, con un máximo de 75.68 ms, un mínimo de 15.60 ms y una media de 30.67 ms. La figura 5.6 muestra como varia el jitter en el servidor Asterisk tradicional con respecto al tiempo, cuyo promedio es de 4.42 ms, con un máximo de 5.58 ms y un mínimo de 2.55 ms.

Según la ITU el valor máximo permitido de jitter para llamadas VoIP es de 20 ms, como podemos observar en las Figuras 5.5 y 5.6, el sistema con servidor Asterisk Inalámbrico se encuentra sobre el máximo permitido mientras que el otro sistema se encuentra bajo el máximo permitido.

La diferencia de medias entre los dos sistemas con respecto al jitter es de 28.12 ms cuyo valor se encuentra dentro del intervalo de confianza  $20.05 \text{ ms} \leq u_1 - u_2 \leq 41.568 \text{ ms}$ , donde  $u_1$  representa la media del jitter de la red con servidor Asterisk inalámbrico y  $u_2$  es la media del jitter de la red con servidor Asterisk tradicional. Con lo que se pudo determinar que el jitter en el servidor Asterisk inalámbrico es mayor con respecto al jitter del servidor Asterisk tradicional.



**Figura 5-7** Jitter de la red mesh con servidor PBX-IP inalámbrico.



**Figura 5-8** Jitter de la red mesh con servidor PBX-IP tradicional

# CONCLUSIONES

1. Luego de las pruebas se comprueba que el sistema con servidor Asterisk tradicional es mejor que el sistema con servidor Asterisk instalado en un enrutador inalámbrico en términos de Calidad de Servicio. Cabe resaltar que, los resultados obtenidos reflejan valores adecuados de Calidad de Servicio, ya que se encuentran dentro de los rangos recomendados por la ITU para llamadas en tiempo real.
2. El valor promedio de ancho de banda en el sistema A es mayor que en el sistema B, lo que implica que en el sistema A se puede enviar mayor cantidad de información a la red y, por tanto, la Capacidad de dicho sistema es superior.
3. Los resultados muestran que la diferencia que existe entre estos dos sistemas no es muy significativa a baja escala. Por este motivo, un sistema VoIP instalado en un enrutador inalámbrico resulta una solución muy conveniente para pequeñas y medianas empresas.
4. El servidor Asterisk tradicional soporta más llamadas simultáneas que el servidor Asterisk inalámbrico pero no se recomienda saturar al

servidor ya que la calidad de servicios de la llamada VoIP puede bajar significativamente, Según la ITU recomienda realizar 8 llamadas simultaneas para garantizar una mejor calidad de servicios.

5. Usar un servidor Asterisk inalámbrico en una red mesh, reduce costo, ya que el servidor Asterisk estaría configurado dentro de uno de los enrutadores de la red mesh.

# RECOMENDACIONES

1. Si el enrutador ya ha sido utilizado y no podemos ingresar a su interfaz web, le podemos transferir la imagen de OpenWrt a través de protocolo de transferencia de archivos TFTP.
2. Al momento de cambiar el firmware del enrutador no se debe apagar o desconectar el equipo, ya que este podría quedar inservible.
3. Dar un mayor mantenimiento a las instalaciones eléctricas de la facultad, puesto que algunos de los interruptores no funcionan.
4. Se recomienda para una futura investigación el análisis de la calidad de servicios y capacidad de un servidor Asterisk Inalámbrico en una red Mesh de una escala mayor, con la finalidad de ver la factibilidad de estos sistemas en empresas grandes o para implementarlo dentro de la universidad.

# GLOSARIO

**IVR.-** Respuesta interactiva de voz, consiste en un sistema que es capaz de recibir una llamada e interactuar con el usuario a través de sonidos e ingreso de dígitos. Nos permite tener un saludo personalizado, le ofrece opciones al cliente, una vez escogida la opción redirige automáticamente la llamada hacia una extensión determinada sin la necesidad de una operadora, y en caso de no estar disponible, la coloca en espera o en su caso la transfiere al próximo agente disponible

**Firmware:** Es un programa que es grabado en una memoria ROM y establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo. Se considera parte del hardware por estar integrado en la electrónica del dispositivo, pero también es software, pues proporciona la lógica y está programado por algún tipo de lenguaje de programación. El firmware recibe órdenes externas y responde operando el dispositivo.

**OPKG:** Sistema de gestión de paquetes ligero basado en ipkg. Está escrito en lenguaje C y se asemeja a apt. Está diseñado para su uso en dispositivos embebidos Linux.



**VoIP.-** Voz sobre Protocolo de Internet, o Voz sobre IP es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP. Es decir que se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos utilizables sólo por telefonía convencional como las redes.

**PSTN:** Siglas de *Public Switched Telephone Network*, se refiere a la Red Telefónica Pública Conmutada.

**SIP:** Session Initiation Protocol (SIP o Protocolo de Inicio de Sesiones) es un protocolo desarrollado con la intención de ser el estándar para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como el video, voz, mensajería instantánea, juegos en línea.

**H323:** Es un conjunto de estándares de ITU-T, los cuales definen un conjunto de protocolos para proveer comunicación visual y de audio sobre una red de computadores.

**Códec:** Abreviatura de *codificador-decodificador*. Describe una especificación desarrollada en software, hardware o una combinación de

ambos, capaz de transformar un archivo con un flujo de datos (*stream*) o una señal.

**IEEE:** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en español Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización.

**Wifi:** es una marca de la *Wi-Fi Alliance* (anteriormente la *WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11 relacionados a redes inalámbricas de área local.

**MPR:** Multipoint Relay Incluir en las tablas solo los enlaces a los nodos MPR reduce el tamaño de las mismas, lo que permite reducir el ancho de banda consumido durante su intercambio

**S/N:** La relación señal/ruido (en inglés *Signal to noise ratio* SNR o S/N) se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios.

**Plan de marcado:** Es el área de configuración de Asterisk más importante y es el responsable del funcionamiento de la conmutación de las llamadas. Así como en una central convencional usted marca dígitos específicos para usar una línea externa o disca un ramal dentro de los ramales programados en la central para acceder a otra terminal en el Asterisk para cada número que usted marca, es posible programar una acción y esto es determinado en el plan de marcado.

**Open Source:** Código abierto es el término con el que se conoce al software distribuido y desarrollado libremente. El código abierto tiene un punto de vista más orientado a los beneficios prácticos de compartir el código que a las cuestiones morales y/o filosóficas las cuales destacan en el llamado software libre.

**MAC:** La dirección MAC (siglas en inglés de *media access control*; en español "control de acceso al medio") es un identificador de 48 bits (6 bloques hexadecimales) que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red. Se conoce también como dirección física, y es única para cada dispositivo. Las direcciones MAC son únicas a nivel mundial, puesto que son escritas directamente, en forma binaria, en el hardware en su momento de fabricación.

**Softphone:** Un softphone (en inglés combinación de *software* y de *telephone*) es un software que hace una simulación de teléfono convencional por computadora. Es decir, permite usar la computadora para hacer llamadas a otros softphones o a otros teléfonos convencionales usando un VSP. Puede estar basado en el estándar SIP/H.323 o ser privativo.

**Troncal:** Una línea troncal es un enlace que interconecta las llamadas externas de una central telefónica, concentrando y unificando varias comunicaciones simultáneas en una sola señal para un transporte y transmisión a distancia más eficiente (generalmente digital) y poder establecer comunicaciones con otra central o una red entera de ellas. Una central telefónica tipo PBX utiliza una línea troncal para poder hacer de la central parte de la red de otras centrales y mantener comunicaciones. Generalmente las líneas troncales de los PBX son enlaces digitales E1 y T1 que soportan hasta 30 canales de voz para la intercomunicación.

**Licencia GLP:** *General Public License* está orientada principalmente a proteger la libre distribución, modificación y uso de software. Su propósito es declarar que el software cubierto por esta licencia es software libre y protegerlo de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a los usuarios.

**Gateway:** La puerta de enlace en una red de datos, es un dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación. Su propósito es traducir la información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red de destino.

**TFTP:** Trivial file transfer Protocol (Protocolo de transferencia de archivos trivial). Es un protocolo de transferencia muy simple semejante a una versión básica de FTP. TFTP a menudo se utiliza para transferir pequeños archivos entre ordenadores en una red.

**Jsf2:** Es un sistema de ficheros con soporte para transacciones especializado en memorias Flash, nace como sucesor de JFFS y será sucedido por JFFS3.

**CPU:** La Unidad Central de Procesos, es la parte de un sistema informático que lleva a cabo las instrucciones de un programa de ordenador, y es el elemento principal la realización de las funciones de la computadora u otro dispositivo de procesamiento de otros.

# **ANEXOS**

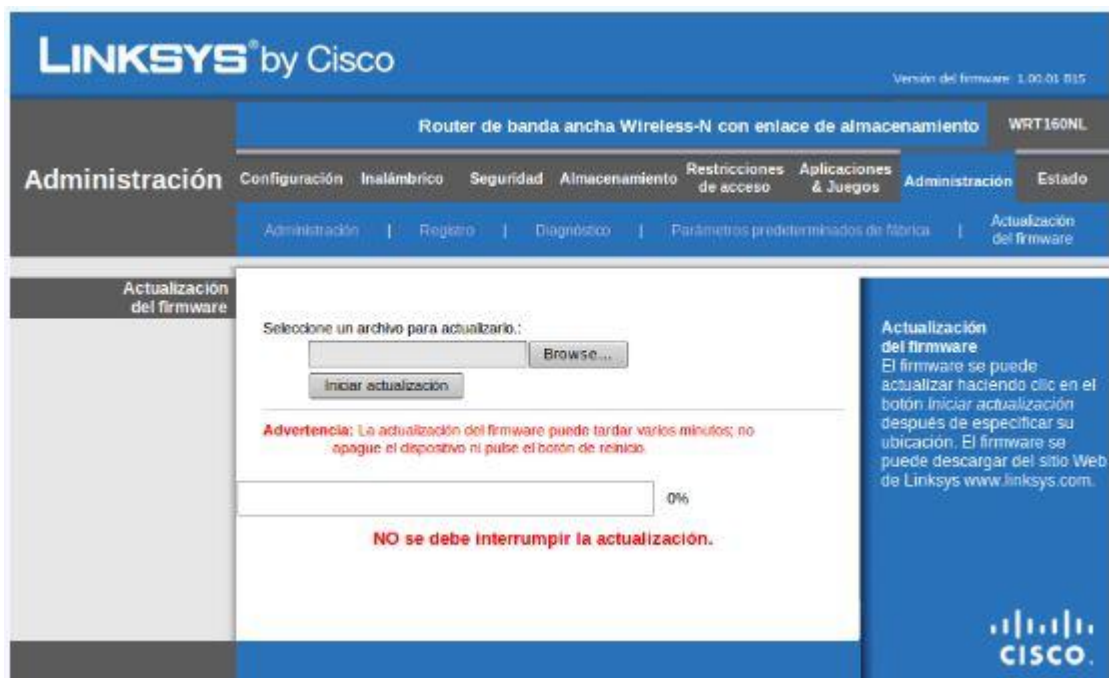
# ANEXO A

## Instalación y Configuración de OpenWrt

Descargamos la imagen del repositorio de OpenWrt:

<http://downloads.openwrt.org/backfire/10.03-rc3/ar71xx/>

Si el enrutador es nuevo y tiene las configuraciones por defecto, lo conectamos a una PC mediante un cable UTP directo, y ponemos la PC dentro de la misma red del enrutador. Mediante un navegador web ingresamos a la interfaz gráfica del enrutador en la dirección <https://192.168.0.1>, el usuario lo dejamos en blanco y la contraseña es "admin". Luego nos dirigimos al menú de Administración - Actualización de Firmware y seleccionamos la imagen y lo actualizamos.



Luego de hacer la instalación es necesario instalar ciertos paquetes que son necesarios, como por ejemplo para la conexión vía Wifi, para esto descargamos los siguientes paquetes.

```
opkg update
```

```
opkg install kmod-ath9k
```

```
opkg install wpad-mini
```

```
reboot
```

Luego de instalar los paquetes debemos habilitarlo, para esto generamos el archivo de configuración de la siguiente manera.

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

En el archivo `/etc/config/wireless` habilitamos el dispositivo:

```
option disabled 1
```

Finalmente activamos el WiFi con:

```
wifi up
```

Para poder usar los enrutadores en red es necesario configurar el archivo de red que se encuentra en: `etc/config/network`, en el cual se configura la interfaz wifi con la dirección de red, mascara y gateway.



# ANEXO B

## OpenWrt

OpenWrt es una distribución de Linux basada en firmware usada para dispositivos embebidos tales como routers personales. El soporte fue limitado originalmente al modelo Linksys WRT54G, pero desde su rápida expansión se ha incluido soporte para otros fabricantes y dispositivos, incluidos el Netgear, D-Link, ASUS y algunos otros. El router más popular sigue siendo el Linksys WRT54G y el ASUS WL500G.



OpenWrt utiliza principalmente una interfaz de línea de comando, pero también dispone de una interfaz WEB en constante mejora. El desarrollo de OpenWrt fue impulsado inicialmente gracias a la licencia GPL y su carácter vírico, que impulsaba a todos aquellos fabricantes que modificaban y mejoraban el código, a liberar éste y contribuir cada vez más al proyecto en general. Poco a poco el software ha ido creciendo y se encuentran características implementadas que no tienen muchos otros fabricantes de dispositivos comerciales para el sector no profesional, tales como QoS, VPN y otras características que dotan a OpenWrt de un dispositivo realmente

potente y versátil, apto para utilizar los hardware donde corre OpenWrt no sólo para utilizarlos como routers, sino como servidores de archivo, nodos P2P, servidores de Webcams, firewall o puertas de acceso VPN.

## Dispositivos Soportados

OpenWrt soporta varias marcas y modelos. En la siguiente tabla presentamos los modelos Linksys soportados.

Modelo	Versión	Estado	Plataforma	Velocidad CPU (MHz)	Flash (MB)	RAM (MB)	Wireless NIC	Wireless Estándar	Wired Ports	USB
NSLU2	n/a	7.06	Intel IXP422	266	8	32	-	-	1	2x 2.0
WRT54GS	2.0	0.9	Broadcom 4712	200	8	32	Broadcom (integrated)	11b/g	5	No
WRT54GL	1.0, 1.1	0.9	Broadcom 5352	200	4	16	Broadcom (integrated)	11b/g	5	No
WRT54G	1.0	0.9	Broadcom 4710	125	4	16	Broadcom (mini-PCI)	11b/g	5	No
WRT54G	1.1	0.9	Broadcom 4710	125	4	16	Broadcom (integrated)	11b/g	5	No
WRT54G	2.0, 2.2, 3.0	0.9	Broadcom 4712	200	4	16	Broadcom (integrated)	11b/g	5	No
WRT54G	3.1	0.9	Broadcom 4712	216	4	16	Broadcom (integrated)	11b/g	5	No
WRT54G	4.0	0.9	Broadcom 5352	200	4	16	Broadcom (integrated)	11b/g	5	No
WAG54G	v2, v3	10.03	TI TNETD7300 GDU (AR7WRD)	150	4	16	TI TNETW11 30GVF (miniPCI)	11b/g	4	No
WAG160N	v1	10.03	Broadcom BCM6358SK FBG	300	4	32	Atheros AR5416 (integrated)	11b/g/n	4	No
WAG160N	v2	-	Broadcom BCM6358SK FBG	300	4	32	Atheros AR9223 (integrated)	11b/g/n	4	No
RTP300	1.0	trunk	?	?	?	8	32	?	4	No
WRT350N v2	2.0, 2.1	10.03	Marvell 88F5181L	500	8	32	Atheros AR5416 (miniPCI)	11b/g/n	5	Yes
WRT160NL	1.0	10.03	Atheros AR9130	400	8	32	Atheros AR9100 (integrated)	11b/g/n	5	Yes

# ANEXO C

## Instalación y configuración de OLSR

Para la instalación del protocolo de enrutamiento OLSR utilizamos el gestor de paquetes opkg para instalarlo.

```
ipkg install olsrd olsrd-mod-nameservice
```

Luego de la instalación procedemos a la configuración de los archivos que presentamos a continuación.

### ➤ **etc/config/olsrd**

```
config olsrd
option IpVersion '4'

config LoadPlugin
option library 'olsrd_txtinfo.so.0.1'
option accept '127.0.0.1'

config Interface
list interface 'wifi'

config Hna4
option netaddr 0.0.0.0
option netmask 0.0.0.0
```

### ➤ **etc/olsrd.conf**

```
DebugLevel 0
IpVersion 4
ClearScreen yes
```

```
Interface "wlan0"{
    AutoDetectChanges yes
}

Hna4{
    10.0.1.0    255.255.255.0
}

AllowNoInt yes
UseHysteresis yes
HystScaling 0.50
HystThrHigh 0.80
HystThrLow 0.30
LinkQualityLevel 0
Pollrate 0.05
NicChgsPollInt 3.0
```

# ANEXO D

## Adaptación de la Memoria USB en enrutador inalámbrico

### WRT160NL

Se requiere instalar los siguientes paquetes y sus dependencias correspondientes.

```
kmod-fs-ntfs
kmod-fs-vfat
kmod-usb-core
kmod-usb-ohci
kmod-usb-uhci
kmod-usb-storage
kmod-usb-storage-extras
kmod-usb2
kmod-nls-base
kmod-nls-cp437
kmod-nls-cp850
kmod-nls-iso8859-1
kmod-nls-iso8859-15
kmod-fs-msdos
kmod-fs-ext3
mkdosfs
e2fsprogs
    libblkid
    libuuid
    libext2fs
    libpthread
        libbrt
kmod-fs-vfat
block-hotplug
kmod-loop
kmod-nls-cp437
kmod-nls-iso8859-1
fdisk
usbutils
    zlib
```

Es necesario crear una partición en la memoria USB con formato ext3. Luego debemos copiar la partición de sistema a la partición del disco usb, en este caso /dev/sda2, para ello montamos ésta partición en el directorio /mnt y la partición de sistema en un directorio temporal.

```
mount /dev/sda2 /mnt
mkdir /tmp/root
mount -o bind / /tmp/root
cp /tmp/root/* /mnt -a
umount /tmp/root
umount /mnt
```

Ahora hay que hacer se inicie desde la partición de sistema del disco usb (/dev/sda2), modifíco el archivo /etc/config/fstab en la sección mount y agrego la línea:

```
option is_rootfs 1
```

La configuración de archivo fstab queda así:

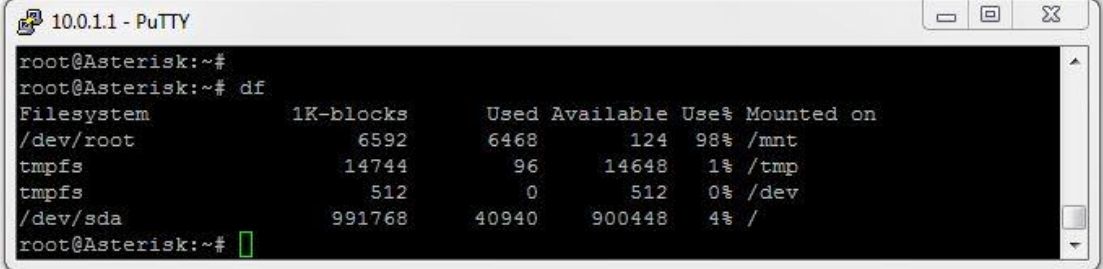
```
config mount
option target /overlay
option device /dev/sda2
option fstype ext3
option options rw, sync, umask=000
option enabled 1
option enabled_fsck 1
option is_rootfs 1
```

Instalamos paquete block-extroot que permite boteo externo y reiniciamos

```
opkg update
opkg install block-extroot
reboot
```

Después del reinicio podemos verificar listando las particiones y espacio libre:

```
df -h
```



```
10.0.1.1 - PuTTY
root@Asterisk:~#
root@Asterisk:~# df
Filesystem      1K-blocks    Used Available Use% Mounted on
/dev/root        6592         6468      124  98% /mnt
tmpfs            14744          96    14648   1% /tmp
tmpfs             512           0       512   0% /dev
/dev/sda         991768      40940   900448   4% /
root@Asterisk:~#
```

Puede que al intentar instalar algún paquete reclame que no hay espacio, así que agregamos una línea para forzar el espacio disponible

```
echo option force_space >> /etc/opkg.conf
```

Ahora debería iniciar siempre desde el disco usb, si encendemos el router sin el disco lo único que pasará es que no montara la unidad así que iniciara desde la memoria interna.

# ANEXO E

## Archivos de configuración de Asterisk

### ➤ **etc/asterisk/sip.conf**

```
[roxana]
type=friend
secret=1234
host=dynamic
context=internos
callerid="Roxana Pena" <1001>
nat=yes
canreinvite=no
disallow=all
allow=alaw
allow=g729

[estefania]
type=friend
secret=1234
callerid="Estefania Arias" <1002>
context=internos
host=dynamic
nat=yes
canreinvite=no
disallow=all
allow=alaw
allow=g729

[1003]
type=friend
secret=1234
callerid="1003" <1003>
context=internos
host=dynamic
nat=yes
canreinvite=no
disallow=all
allow=alaw
allow=g729
```



```
[sipp]
type=friend
context=sipp
callerid="2005" <2005>
host=dynamic
allowguest=yes
nat=yes
port=6000
user=sipp
canreinvite=no
trustrpid=yes
sendrpid=yes
disallow=all
allow=alaw
allow=ulaw
allow=g729
```

➤ **etc/asterisk/extensions.conf**

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

[internos]
exten => 1001,1,Dial(SIP/roxana,20,r)
exten => 1001,2,Hangup()

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

exten => 1003,1,Dial(SIP/1003,20,r)
exten => 1003,2,Playback(spam)
exten => 1003,3,Playback(spam)
exten => 1003,4,Hangup()

[sipp]
exten => 2005,1,Answer()
exten => 2005,2,Dial(SIP/2005,20,r)
exten => 2005,3,Playback(spam)
exten => 2005,4,Playback(spam)
exten => 2005,5,Hangup()
```

➤ **etc/asterisk/asterisk.conf**

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

[options]
languageprefix = yes ; Use the new sound prefix path
syntax
;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
;initcrypto = yes ; Initialize crypto keys
;nocolor = yes ; Disable console colors
;dontwarn = yes ; Disable some warnings
;dumpcore = yes ; Dump core on crash
;internal_timing = yes
;maxcalls = 10 ; Maximum amount of calls allowed
;maxload = 0.9 ; Asterisk stops accepting new calls if
the load average exceed this limit
;cache_record_files = yes ; Cache recorded sound files to
another directory during recording
;record_cache_dir = /tmp ; Specify cache directory
;transmit_silence_during_record = yes
;transmit_silence = yes
;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
;dahdichaname = yes
```

```
;  
;[files]  
;astctlpermissions = 0660  
;astctlowner = root  
;astctlgroup = apache  
;astctl = asterisk.ctl
```

# ANEXO F

## Instalación de Elastix

1. Insertamos el CD y pondremos a bootear el equipo desde la unidad de CD.
2. Nos debe de aparecer una imagen similar o igual a esta. Seleccionaremos enter para iniciar la instalación de modo grafico.



3. En este paso lo que nos pedirá que clase de lenguaje utilizaremos durante la instalación del sistema. Seleccionamos nuestro lenguaje en nuestro caso spanish aceptamos (ok).



4. Nos pide el idioma del lenguaje de nuestro teclado. (us) en nuestro caso.



5. Luego escogemos el tipo de particionado de nuestro disco duro. En nuestro caso lo haremos por defecto aunque también podemos crear nuestro propio diseño. Seleccionamos la unidad (hda) tipo de particionado y aceptamos.



6. En este momento se configuran las interfaces de red.



7. Seguimos con las interfaces de red en nuestro caso decidimos configurar tanto puerta de enlace como DNS primario. Aceptamos.



8. En este paso ingresamos manualmente el nombre de la maquina o se deja de forma automática que se denominaría "local host" . Seleccionamos aceptar.



9. Seleccionaremos el uso horario. En mi caso deje el que venía por defecto, aunque el ideal para nuestra zona horaria sería Bogotá, Quito. Aceptamos.



10. En este paso debemos de seleccionar una contraseña root para nuestro sistema. Esta pedirá una confirmación para evitar errores.



11. Durante el proceso de instalación de la imagen en el disco duro de nuestro equipo.



12. En este paso Elastix nos pide una contraseña para la base de datos de MySQL. Digitamos nuestra contraseña. Aceptamos.



13. Nos pide verificación de nuestra contraseña, la ingresamos de nuevo y aceptamos.



14. En este momento Elastix nos pide una contraseña para el ingreso vía web al FreePBX y al vitiger (CRM). El usuario sería admin y el password el que ingresemos en este paso. También nos pedirá verificación.



15. Luego de terminar todos los pasos anteriores debemos de observar esta pantalla lo cual nos indicara que hemos culminado la instalación del Elastix. Ahora si a configurar el sistema.



16. Después de tener instalado nuestro sistema ingresamos con nuestro usuario y contraseña y vamos a cambiar nuestra configuración de red. De



una de las tarjetas (eth1) a una Ip estática para poder ingresar a nuestro entorno grafico. Lo realizaremos de la siguiente forma.

```
Trux@elastix:~$ nano /etc/network/interfaces
Trux@elastix:~$ nano /etc/network/interfaces
iface eth0 inet static
    address 192.168.1.100
    netmask 255.255.255.0
    gateway 192.168.1.1
    dns-nameservers 192.168.1.1
iface eth1 inet static
    address 200.126.12.116
    netmask 255.255.255.0
Trux@elastix:~$ nano /etc/network/interfaces
```





17. Cambiamos la configuración de la tarjeta eth1 de DHCP a una Ip estática.

```
GNU nano 1.3.12 Fichero: ifcfg-eth1
# Advanced Micro Devices [AMD] 79c979 [PCnet] LANCE1
DEVICE=eth1
IPADDR=192.168.2.136
NETMASK=255.255.255.0
GATEWAY=192.168.2.1
BRIDGE=RE:BC:29:19:5E:87
ONBOOT=YES
TYPE=Ethernet
```

18. Guardamos los cambios y reiniciamos las interfaces con el comando service network restart. Ya ahora podremos ingresar vía web a nuestro Elastix con la dirección 200.126.12.116



## Configuración de Clientes SIP en Elastix

Extension: 1001	Extension: 1002
 Delete Extension 1001  Add Follow Me Settings	 Delete Extension 1002  Add Follow Me Settings
<a href="#">Edit Extension</a>	<a href="#">Edit Extension</a>
Display Name: <input type="text" value="Roxanna"/>	Display Name: <input type="text" value="Estefania"/>
CID Num Alias: <input type="text"/>	CID Num Alias: <input type="text"/>
SIP Alias: <input type="text" value="1001"/>	SIP Alias: <input type="text" value="1002"/>
Device Options	Device Options
This device uses sip technology.	
secret: <input type="text" value="1234"/>	secret: <input type="text" value="1234"/>
dtmfmode: <input type="text" value="rfc2833"/>	dtmfmode: <input type="text" value="rfc2833"/>
canreinvite: <input type="text" value="no"/>	canreinvite: <input type="text" value="no"/>
context: <input type="text" value="from-internal"/>	context: <input type="text" value="from-internal"/>
host: <input type="text" value="dynamic"/>	host: <input type="text" value="dynamic"/>
type: <input type="text" value="friend"/>	type: <input type="text" value="friend"/>
nat: <input type="text" value="yes"/>	nat: <input type="text" value="yes"/>
port: <input type="text" value="5060"/>	port: <input type="text" value="5060"/>
qualify: <input type="text" value="yes"/>	qualify: <input type="text" value="yes"/>
callgroup: <input type="text"/>	callgroup: <input type="text"/>
pickupgroup: <input type="text"/>	pickupgroup: <input type="text"/>
disallow: <input type="text"/>	disallow: <input type="text"/>
allow: <input type="text"/>	allow: <input type="text"/>
dial: <input type="text" value="SIP/1001"/>	dial: <input type="text" value="SIP/1002"/>
accountcode: <input type="text"/>	accountcode: <input type="text"/>
mailbox: <input type="text" value="1001@device"/>	mailbox: <input type="text" value="1002@device"/>

# ANEXO G

## Tablas de Enrutamiento

### Tabla de enrutamiento del nodo 1

```
root@Asterisk:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
10.0.1.2         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.4         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.3         10.0.1.2        255.255.255.255 UGH     2     0      0 wlan0
10.0.0.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         10.0.1.5        255.255.255.0  UG      2     0      0 wlan0
192.168.1.0     0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 eth0
200.126.12.0    0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 eth1
0.0.0.0         200.126.12.1    0.0.0.0         UG      0     0      0 eth1
```

### Tabla de enrutamiento del nodo 2

```
root@nodo2:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
10.0.1.1         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.3         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.4         10.0.1.1        255.255.255.255 UGH     2     0      0 wlan0
10.0.0.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         10.0.1.1        255.255.255.0  UG      2     0      0 wlan0
192.168.1.0     0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 br-lan
0.0.0.0         10.0.1.1        0.0.0.0         UG      0     0      0 wlan0
0.0.0.0         10.0.1.1        0.0.0.0         UG      2     0      0 wlan0
```

### Tabla de enrutamiento del nodo 3

```
root@nodo3:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
10.0.1.4         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.2         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.1         10.0.1.4        255.255.255.255 UGH     2     0      0 wlan0
10.0.0.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         10.0.1.5        255.255.255.0  UG      2     0      0 wlan0
192.168.1.0     0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 br-lan
0.0.0.0         10.0.1.1        0.0.0.0         UG      0     0      0 wlan0
0.0.0.0         10.0.1.1        0.0.0.0         UG      2     0      0 wlan0
```

### Tabla de enrutamiento del nodo 4

```
root@nodo4:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
10.0.1.3         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.1         0.0.0.0         255.255.255.255 UH      2     0      0 wlan0
10.0.1.2         10.0.1.1        255.255.255.255 UGH     2     0      0 wlan0
10.0.0.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 wlan0
10.0.1.0         10.0.1.1        255.255.255.0  UG      2     0      0 wlan0
192.168.1.0     0.0.0.0         255.255.255.0  U       0     0      0 br-lan
0.0.0.0         10.0.1.1        0.0.0.0         UG      0     0      0 wlan0
0.0.0.0         10.0.1.1        0.0.0.0         UG      2     0      0 wlan0
```

# ANEXO H

## Escenario XML UAC con envío de media.

```
<? xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<!DOCTYPE scenario SYSTEM "sipp.dtd">

<!-- Sipp 'uac' scenario with pcap (rtp) play      -->

<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 response="100" optional="true"> </recv>

<recv response="180" optional="true"> </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" rtd="true" crlf="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 I

## Ecuaciones para cálculo de intervalos de confianza.

Varianza de la muestra:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Desviación estándar de la muestra:

$$s = \sqrt{s^2}$$

Caso III: Muestras tomadas de poblaciones normales independientes  
varianzas desconocidas y diferentes.

$$\frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \sim T(\vartheta)$$

Donde:

$$\vartheta = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$$

$$-t_{\frac{\alpha}{2}} \leq T \leq t_{\frac{\alpha}{2}}$$



$$-t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta) \leq \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \leq t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta)$$

Intervalo de Confianza para Diferencia de Medias.

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

## CÁLCULOS MATEMÁTICOS.

### Intervalos de confianza del ancho de banda

#### Datos del servidor inalámbrico

$$N_1=14$$

$$S_1^2=1003.91$$

$$\bar{x}_1 = 80.27$$

$$\bar{u}_1 = 85.67$$

#### Datos de servidor tradicional

$$N_2=12$$

$$S_2^2=4.29$$

$$\bar{x}_2 = 77.58$$

$$\bar{u}_2 = 77.62$$

### Diferencia de medias

$$\mu_1 - \mu_2 = 85.67 - 77.62 = 8.05$$

### Cálculos

$$\vartheta = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} = \frac{\left(\frac{1003.91}{14} + \frac{4.29}{12}\right)^2}{\frac{\left(\frac{1003.91}{14}\right)^2}{14 - 1} + \frac{\left(\frac{4.29}{12}\right)^2}{12 - 1}} = \frac{5193.42}{395.54 + 0.01} = 13.13$$

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

$$(80.27 - 77.58) - t_{0.025}(13.13) \sqrt{\frac{1003.91}{14} + \frac{4.29}{12}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (80.27 - 77.58) +$$

$$t_{0.025}(13.13) \sqrt{\frac{1003.91}{14} + \frac{4.29}{12}}$$

$$-15.65 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 21.03$$

Por lo tanto la diferencia de medias 8.05 se encuentra dentro del intervalo de confianza.

## INTERVALOS DE CONFIANZA DEL DELAY

### Datos del servidor inalámbrico

$$N_1=14$$

$$S_1^2=386.16$$

$$\bar{x}_1 = 33.07$$

$$\bar{u}_1 = 27.05$$

### Datos del servidor tradicional

$$N_2=12$$

$$S_2^2=0.34$$

$$\bar{x}_2 = 20.90$$

$$\bar{u}_2 = 20.88$$

### Diferencia de medias

$$\mu_1 - \mu_2 = 27.05 - 20.88 = 6.17$$

### Cálculos

$$\vartheta = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} = \frac{\left(\frac{386.16}{14} + \frac{0.34}{12}\right)^2}{\frac{\left(\frac{386.16}{14}\right)^2}{14 - 1} + \frac{\left(\frac{0.34}{12}\right)^2}{12 - 1}} = \frac{762.38}{58.52 + 7.298 \times 10^{-5}} = 13.02$$

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{\frac{\alpha}{2}}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

$$(33.07 - 20.05) - t_{0.025}(13.02) \sqrt{\frac{386.16}{14} + \frac{0.34}{12}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (33.07 - 20.05) +$$

$$t_{0.025}(13.02) \sqrt{\frac{386.16}{14} + \frac{0.34}{12}}$$

$$1.669 - \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 24.371$$

Por lo tanto la diferencia de medias 6.17 se encuentra dentro del intervalo de confianza.

## **INTERVALOS DE CONFIANZA DEL JITTER**

### **Datos del servidor inalámbrico**

$$N_1=14$$

$$S_1^2=346.34$$

$$\bar{x}_1 = 35.23$$

$$\bar{u}_1 = 30.67$$

### **Datos del servidor tradicional**

$$N_2=12$$

$$S_2^2=0.67$$

$$\bar{x}_2 = 4.42$$

$$\bar{u}_2 = 4.42$$

### **Diferencia de medias**

$$\mu_1 - \mu_2 = 30.67 - 4.42 = 28.12$$

### Cálculos

$$\vartheta = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} = \frac{\left(\frac{346.34}{14} + \frac{0.67}{12}\right)^2}{\frac{\left(\frac{346.34}{14}\right)^2}{14 - 1} + \frac{\left(\frac{0.67}{12}\right)^2}{12 - 1}} = \frac{614.762}{47.08 + 2.834 \times 10^{-4}} = 13.08$$

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\alpha/2}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{\alpha/2}(\vartheta) \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

$$(35.23 - 4.42) - t_{0.025}(13.08) \sqrt{\frac{346.34}{14} + \frac{0.67}{12}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (35.23 - 4.42) +$$

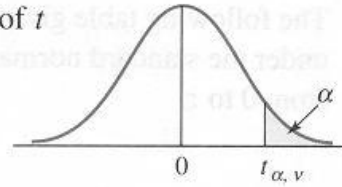
$$t_{0.025}(13.08) \sqrt{\frac{346.34}{14} + \frac{0.67}{12}}$$

$$20.05 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 41.568$$

Por lo tanto la diferencia de medias 28.12 se encuentra dentro del intervalo de confianza.

## TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN T

The following table contains critical values of  $t$  for given probability levels.



Degrees of Freedom, $v$	CRITICAL VALUES $t_{\alpha}$				
	$t_{.10}$	$t_{.05}$	$t_{.025}$	$t_{.01}$	$t_{.005}$
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	1.290	1.661	1.984	2.358	2.626
$\infty$	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

From Merrington, Maxine. "Table of Percentage Points of the  $t$ -Distribution." *Biometrika*, vol. 32, 1941, p. 300.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jim Van Meggelen, Leif Madsen, Jared Smith, Asterisk: The Future of Telephony. O'Reilly Media, Inc., 2007
- [2] Digium Inc, Asterisk: the open source telephony project, <https://wiki.asterisk.org/wiki/display/AST/Home>, fecha de consulta enero 2011.
- [3] Boyett Andy, Thill Nicolas, OpenWrt: Open source router firmware. <http://openwrt.org>, fecha de consulta enero 2011.
- [4] Palosanto Solutions, Elastix: Open Source Unified Communications Server: <http://elastix.org>, fecha de consulta enero 2011.
- [5] Wireshark Foundation, The Wireshark packet analyzer, <http://wireshark.org>, fecha de consulta mayo 2011
- [6] ITU: International Communications Union, <http://www.itu.int/ITU-T>, fecha de consulta junio 2011.
- [7] Hewlett-Packard, HP-SipP Traffic Generator, <http://sipp.sourceforge.net/>, fecha de consulta junio 2011.
- [8] June Jamrichoja Parsons, Conceptos de computación: nuevas perspectivas. Cengage Learning Editores, 2008.

- [9] Tarek Sobh, Khaled Elleithy, Ausif Mahmood. Novel algorithms and techniques in telecommunications, automation and industrial electronics, Springer, 2008.
- [10] Flavio. E. Goncalves. Configuration Guide for Asterisk PBX: How to Build and Configure a Pbx With Open Source Software Featuring Relas 1.4. Booksurge, 2007
- [11] Sulkin Allan, PBX systems for IP telephony, McGraw-Hill, 2002.
- [12] Otxoa Gilo Ander, Curso de Redes Inalámbricas. Wi-fi, el futuro de la comunicación,<http://www.mailxmail.com/curso-redes-inalambricas-wi-fi-futuro-comunicacion/topologia-modos-funcionamiento-dispositivos>, fecha de consulta mayo 2011.
- [13] Vergara Kervin ,Topología de red: malla, estrella, árbol, bus y anillo, <http://www.bloginformatico.com/topologia-de-red.php>, fecha de consulta mayo de 2011.
- [14] Buettrich Sebastiany Escudero Alberto, Topología e Infraestructura Básica de Redes Inalámbricas, [http://www.eslared.org.ve/tricalcar/04\\_es\\_topologia-e-infraestructura\\_guia\\_v02%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/tricalcar/04_es_topologia-e-infraestructura_guia_v02%5B1%5D.pdf), fecha de consulta mayo 2011.
- [15] Guerrero Matias, Topología de Redes, <http://html.rincondelvago.com/topologia-de-redes.html>, fecha de consulta mayo 2011.



- [16] Iglesias Juan Ignacio, Red inalámbrica Mesh, [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_inal%C3%A1mbrica\\_Mesh](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica_Mesh), fecha de consulta mayo 2011.
- [17] Winston Keith, Midiendo el rendimiento del sistema con SAR, <http://mundogeek.net/traducciones/midiendo-el-rendimiento-del-sistema-con-SAR.htm>, fecha de consulta junio 2011.
- [18] Cisco Systems Inc, Small Business PBX: Basics, [http://www.cisco.com/cisco/web/solutions/small\\_business/resource\\_center/articles/be\\_more\\_productive/small\\_business\\_pbx/index.html](http://www.cisco.com/cisco/web/solutions/small_business/resource_center/articles/be_more_productive/small_business_pbx/index.html), fecha de consulta junio 2011.
- [19] Panasonic de México S.A., Sistemas Telefónicos Digitales, [http://www.panasonicpbx.com/productos/conmutadores\\_digitales/](http://www.panasonicpbx.com/productos/conmutadores_digitales/), fecha de consulta junio 2011.
- [20] Ward Mundy, PBX in a Flash, [http://pbxinaflash.com/wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://pbxinaflash.com/wiki/index.php?title=Main_Page), fecha de consulta junio 2011.
- [21] Técnicas Profesionales, S.L, Factores que afectan a la calidad de VoIP, <http://tp.vozsobreip.info/index.php/factores-que-afectan-a-la-calidad-de-la-voz-en-voz-sobre-ip>, fecha de consulta mayo 2011.