# CONMUTACIÓN DE LLAMADAS DE VOZ IP ENTRE REDES 3G Y WIFI A TRAVÉS DE UN SERVIDOR SIP

### NICOLÁS ALBERTO PATIÑO HERNÁNDEZ JUAN PABLO ROBLES ALARCÓN



#### CONMUTACIÓN DE LLAMADAS DE VOZ IP ENTRE REDES 3G Y WIFI A TRAVÉS DE UN SERVIDOR SIP

### NICOLÁS ALBERTO PATIÑO HERNÁNDEZ JUAN PABLO ROBLES ALARCÓN

#### TRABAJO DE GRADO PROYECTO DE APLICACIÓN PRÁCTICA

Director Ing. GUSTAVO ADOLFO RAMÍREZ ESPINOSA Profesor de planta

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA FACULDAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA ELECTRÓNICA BOGOTA 2013

## CONTENIDO

1.	IN	TROI	DUCCIÓN	7
2.	MA	ARCC	) TEÓRICO	9
	2.1.	Reg	zistro de Usuario	9
	2.2.	Esta	ablecimiento de Llamada a través de un Servidor Proxy	11
3.	ES	PECI	FICACIONES	15
	3.1.	Ser	vidor SIP	15
	3.1	.1.	ELASTIX <sup>®</sup>	15
	3.1	.2.	ASTERISK <sup>®</sup>	16
	3.2.	Apl	icación Móvil	17
	3.2	.1.	SIPDROID	17
	3.3.	Esq	uema de Red	18
4.	DE	ESARI	ROLLO	19
	4.1.	Imp	lementación KAMAILIO™	19
	4.1	.1.	Configuración RTPproxy	20
	4.1	.2.	Configuración Kamailio	20
	4.1	.3.	DMZ del Servidor Kamailio	26
	4.2.	Imp	plementación SIPDROID	26
	4.2	.1.	SVN y AndroidSDK	26
	4.2		Funcionamiento de la Aplicación	29
	4.2	.3.	Estados de la Aplicación	30
	4.2	.4.	Conectividad por medio de 3G y WiFi	31
	4.2	.5.	Configuración de cuentas en SIPDroid	33
	4.3.	Imp	plementación ELASTIX <sup>®</sup>	34
	4.3	.1.	Instalación del Servidor	34
	4.3	.2.	Interfaz de Configuración y Administración	36
	4.3	.3.	Creación de usuarios y extensiones	36

	4.3.4.	Configuración FreePBX <sup>®</sup> (ASTERISK <sup>®</sup> )	38
	4.3.5.	DMZ del Servidor Elastix	40
4	.4. Con	mutación de llamadas de voz entre redes 3G y WiFi a través de Elastix	40
5.	ANÁLIS	IS DE RESULTADOS	43
5	.1. Res	ultados obtenidos utilizando el servidor Kamailio	43
	5.1.1.	Comunicación entre redes 3G	43
	5.1.2.	Comunicación entre redes WiFi	47
5	.2. Res	ultados obtenidos utilizando el servidor Elastix	50
	5.2.1.	Conmutación de llamada – 3G a WiFi	50
	5.2.2.	Conmutación de llamada – WiFi a 3G	54
5	.3. Lim	itaciones Red WiFi PUJ	58
6.	CONCLU	USIONES	59
7.	BIBLIO	GRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	60
8.	ANEXO	S	61

### TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Stack del Protocolo Multimedia de Internet. Tomado de (1)	9
Figura 2. Ejemplo Registro SIP. Tomado de (2).	9
Figura 3. Ejemplo de llamada SIP con un servidor proxy. Tomado de (3)	11
Figura 4. Esquema general de los componentes de Elastix. Tomada de (4)	16
Figura 5. Diagrama de Red	18
Figura 6. Información SDP.	19
Figura 7. Creación de la base de datos	22
Figura 8. Creación de usuarios en la base de datos	23
Figura 9. Inicio RTPproxy y Kamailio	25
Figura 10. Configuración DMZ	26
Figura 11. DownloadSVN para obtener el código fuente de la aplicación.	27
Figura 12. Importar código de la Aplicación.	
Figura 13. Creación del proyecto en el Workspace.	
Figura 14. Configuración API Level	28
Figura 15. Paquetes base de SIPDROID.	29
Figura 16. Estados de registro SIPDroid	
Figura 17. Estados de llamada SIPDroid	31
Figura 18. Log de estado de conexión	
Figura 19. Configuración de cuenta SIP en la aplicación.	34
Figura 20. Asignación dirección IP estática del servidor Elastix	35
Figura 21. Inicialización del servidor Elastix.	35
Figura 22. Dashboard de Elastix.	36
Figura 23. Tipos de dispositivo soportados por Elastix.	37
Figura 24. Creación de una extensión	37
Figura 25. Opciones del dispositivo.	
Figura 26. Panel Operador	
Figura 27. Estado del sistema FreePBX.	
Figura 28. Configuración Asterisk SIP Settings.	
Figura 29. Flujo de mensajes SIP durante la conmutación de red.	41
Figura 30. Conexión red 3G.	42
Figura 31. Conexión red WiFi	42
Figura 32. INVITE 3G de 1002 al Servidor Kamailio	44
Figura 33. INVITE 3G del Servidor Kamailio a 1001	44
F	

Figura 34. 200 OK 3G de 1001 al Servidor Kamailio.	
Figura 35. 200 OK 3G del Servidor Kamailio a 1002.	45
Figura 36. Análisis gráfico llamada VoIP 3G – 3G Kamailio	46
Figura 37. Porcentaje de Pérdida llamada 3G – 3G Kamailio	47
Figura 38. Tiempo de Retraso llamada 3G – 3G Kamailio	47
Figura 39. INVITE WiFi de 1002 al Servidor Kamailio.	
Figura 40. INVITE WiFi del Servidor Kamailio a 1001.	49
Figura 41. 200 OK WiFi de 1001 al Servidor Kamailio.	49
Figura 42. 200 OK WiFi del Servidor Kamailio a 1002.	
Figura 43. INVITE 3G de 1002 al Servidor Elastix.	51
Figura 44. INVITE 3G del Servidor Elastix a 1001.	51
Figura 45. 200 OK 3G de 1001 al Servidor Elastix.	
Figura 46. 200 OK 3G del Servidor Elastix a 1002.	
Figura 47. Mensaje REGISTER WiFi al conmutar de red	53
Figura 48. Análisis gráfico conmutación de red (3G a WiFi) Elastix	53
Figura 49. Porcentaje de Pérdida conmutación 3G – WiFi Elastix	54
Figura 50. Tiempo de Retraso conmutación 3G – WiFi Elastix	54
Figura 51. INVITE WiFi de 1002 al Servidor Elastix.	55
Figura 52. INVITE WiFi del Servidor Elastix a 1001.	55
Figura 53. 200 OK WiFi de 1001 al Servidor Elastix	56
Figura 54. 200 OK WiFi del Servidor Elastix a 1002	56
Figura 55. Mensaje REGISTER 3G al conmutar de red	
Figura 56. Porcentaje de Pérdida conmutación WiFi – 3G Elastix	
Figura 57. Tiempo de Retraso conmutación WiFi – 3G Elastix.	

### 1. INTRODUCCIÓN

Según el boletín trimestral de las TIC en Colombia, correspondiente al cuarto trimestre del año 2012, el número de suscriptores a internet de banda ancha supera los seis millones de abonados, de los cuales se estima que el 36.9% de los accesos se realiza a través de redes móviles de tercera generación (3G), mientras que el 62.5% representa conexiones de banda ancha fijas. [1]

Las redes móviles 3G permiten la transmisión tanto de datos como de voz y los abonados a la telefonía celular dependen de la cobertura de red de cada operador al cual están suscritos y de los costos de comunicación establecidos por cada proveedor de servicios y verificados por la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRC).

Gracias a la conectividad de voz sobre IP nace una alternativa en la realización de llamadas de voz, aprovechando las características de redes como lo son 3G y WiFi, brindando la posibilidad de establecer conexiones de voz no solo por medio de redes de telefonía, sino también a través de redes de datos, incluyendo las redes celulares.

Las redes 3G permiten la movilidad de los usuarios por la conmutación entre celdas, siendo dependientes del radio de cobertura de cada una de las bases de transmisión (BTS<sup>1</sup>), con la ventaja que la distancia entre una y otra base permite mantener la conexión mientras el usuario está en movimiento. Las redes WiFi por su parte tienen un alcance limitado al radio de cobertura de la red inalámbrica propagada por dispositivos tales como Routers y Access Points, pero a diferencia de las redes 3G y las tarifas por consumo ofrecidas por los proveedores, las redes WiFi en la mayoría de los casos brindan conectividad y transferencia de datos ilimitada con costos de tarificación fijos.

Ahora bien, conociendo ambas redes de comunicaciones podemos obtener conexión de voz tanto por las redes celulares 3G como por las redes WiFi haciendo uso de servicios VoIP. Gracias a esto es posible conmutar una llamada previamente establecida por una u otra red sin perder la conectividad de la misma, pero este servicio no está disponible para los usuarios a través de los operadores celulares en Colombia, desaprovechando la capacidad de la interoperabilidad entre redes.

El Protocolo de Inicio de Sesiones (SIP, por sus siglas en inglés) nace como un protocolo de comunicaciones IP, encargado del control y señalización de mensajes a través de la red, desarrollado por la IETF<sup>2</sup> y definido en el RFC 3261 como el estándar para la iniciación, modificación y terminación de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como video, voz, mensajería instantánea, juegos en línea y realidad virtual [2].

SIP es un protocolo de control (señalización) bajo el modelo Cliente – Servidor, que opera de la forma 'request – response' y basa su funcionamiento en el registro de los usuarios en el servidor, identificándose de la forma usuario@dominio.

Gracias a la funcionalidad que brinda el protocolo SIP de realizar el registro de los usuarios en un servidor, se abre la posibilidad de utilizar ventajas como la modificación de las características de la comunicación mientras ésta se encuentra en progreso [3]. Esto nos permite por ejemplo, poder cambiar el identificador de los usuarios en el servidor, en este caso la dirección IP con la cual se han registrado, para de esta forma brindar la capacidad a un dispositivo de tener movilidad entre redes 3G y WiFi (Vertical Handover<sup>3</sup>).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Base Transceiver Station

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Internet Engineering Task Force

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Vertical Handover: Se refiere a un nodo de red que modifica el tipo de conexión utilizada (redes de diferentes características) para acceder a una infraestructura soportada, usualmente para permitir movilidad.

El principal objetivo de este trabajo de grado es lograr realizar la conmutación de una llamada de voz entre redes 3G y WiFi, de forma automática y evitando perder la conexión durante el proceso.

En este documento se describe el proceso de implementación del servidor SIP para el registro y establecimiento de llamadas de voz y la implementación de la aplicación móvil que permite realizar una llamada entre dos usuarios y modificar los parámetros de la sesión manteniendo activa la comunicación. Se detalla la solución al problema planteado en el proyecto del presente trabajo de grado, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

### 2. MARCO TEÓRICO

SIP es un protocolo de la capa de aplicación del stack del modelo TCP/IP (Figura 1), encargado del control y señalización de los mensajes a través de la red, utilizado para el establecimiento, modificación y finalización de sesiones, entre ellas VoIP. Permite movilidad por medio del registro y localización (en la red) de los usuarios, la descripción y negociación de las características de la sesión y de las capacidades de los participantes.



Figura 1. Stack del Protocolo Multimedia de Internet. Tomado de (1).

Según la referencia bibliográfica [4] sus principales características son:

- Basado en Texto
- Similar a HTTP o SMTP (petición/respuesta, encabezados, códigos de estado...)
- Uso de URIs (con esquemas sip, sips y tel)
- Métodos básicos: REGISTER, INVITE, ACK, BYE, CANCEL, OPTIONS
- Los mensajes se agrupan en Transacciones y llamadas.
- El cuerpo de los mensajes contiene descripciones de sesiones multimedia (SDP)
- Códigos de respuesta similares a los de HTTP (Ejemplo: 200 OK)
- Localización basada en DNS.

Para efectos del desarrollo de este proyecto, es fundamental entender el proceso de intercambio de mensajes para el establecimiento y terminación de una llamada mediante un servidor SIP, cómo se explica a continuación (ejemplos tomados de [5]).

#### 2.1. Registro de Usuario



Figura 2. Ejemplo Registro SIP. Tomado de (2).

En la Figura 2 se muestra un ejemplo relacionado con el envío del mensaje de registro a un tipo de servidor SIP conocido como 'registrar server'. En el ejemplo el usuario Heisenberg envía el mensaje REGISTER al servidor, el cual lo recibe y utiliza la información contenida en la solicitud para actualizar la base de datos usada por los proxis para enrutar peticiones SIP.

La dirección SIP URI<sup>4</sup> de Heisenberg está contenida en el encabezado TO del mensaje de registro y el campo CONTACT URI, representa el dispositivo actual mediante un identificador único en una base de datos y la dirección IP del usuario. Cuando el servidor proxy recibe un mensaje INVITE (llamada entrante) dirigido a Heisenberg y accede a la base de datos, la solicitud será redirigida a la CONTACT URI del dispositivo actualmente registrado.

El mensaje REGISTER enviado por Heisenberg tiene la forma:

```
REGISTER sip:registrar.munich.de SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 200.201.202.203:5060;branch=z9hG4bKus19
Max-Forwards: 70
To: Werner Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>
From: Werner Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>
;tag=3431
Call-ID: 23@200.201.202.203
CSeq: 1 REGISTER
Contact: sip:werner.heisenberg@200.201.202.203
Content-Length: 0
```

Una vez recibido el mensaje de registro enviado por el cliente, el servidor confirma la operación exitosa mediante el envío de un mensaje de respuesta 200 OK. En el mensaje se incluye un TAG o identificador de la comunicación entre el servidor y el cliente y tiene la siguiente forma:

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP 200.201.202.203:5060;branch=z9hG4bKus19
To: Werner Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>;tag=8771
From: Werner Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>
;tag=3431
Call-ID: 23@200.201.202.203
CSeq: 1 REGISTER
Contact: <sip:werner.heisenberg@munich.de>;expires=3600
Content-Length: 0
```

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Uniform Resource Identifier: Cadena de caracteres corta que identifica inequívocamente un recurso (servicio, página, dispositivo, documento, dirección de correo electrónico, enciclopedia, etc.)

#### 2.2. Establecimiento de Llamada a través de un Servidor Proxy



Figura 3. Ejemplo de llamada SIP con un servidor proxy. Tomado de (3).

Como se mencionó en el ejemplo anterior, el parámetro más importante para el contacto y ubicación del usuario en la red es la SIP URI. Esta es el nombre que se resuelve a una dirección IP gracias a un servidor SIP proxy y a consultas de DNS en el momento de la llamada (si es necesario).

En el flujo de mensajes de la Figura 3, Schroedinger llama a Heisenberg a través de un servidor SIP proxy. El servidor no inicia ni termina sesiones, simplemente actúa como un intermediario en la comunicación, encargándose de recibir y redirigir los mensajes.

El mensaje de INVITE que envía Schroedinger al servidor tiene la siguiente forma:

```
INVITE sip:werner.heisenberg@munich.de SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 100.101.102.103:5060;branch=z9hG4bKmp17a
Max-Forwards: 70
To: Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>
From: E. Schroedinger <sip:schroed5244@aol.com>;tag=42
Call-ID: 10@100.101.102.103
CSeq: 1 INVITE
Subject: Where are you exactly?
Contact: <sip:schroed5244@pc33.aol.com>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 159
v=0
o=schroed5244 2890844526 2890844526 IN IP4 100.101.102.103
s=Phone Call
t=0 0
c=IN IP4 100.101.102.103
m=audio 49170 RTP/AVP 0
a=rtpmap:0 PCMU/8000
```

El mensaje INVITE es un tipo de mensaje SIP/SDP, ya que este no solo contiene la información de señalización de los mensajes SIP, sino que también contiene la información multimedia del usuario que genera la solicitud. Esta es enviada mediante el Protocolo de Descripción de Sesiones (SDP, por sus siglas en inglés), indispensable para el establecimiento de llamada una vez esta sea aceptada por la contraparte. El protocolo SIP encapsula la información del protocolo SDP dentro de su estructura y contiene información como codecs de audio/video soportados por el usuario y la dirección IP de contacto mediante la cual recibirá los datos multimedia (en este caso voz) y que será utilizada por el protocolo RTP<sup>5</sup> encargado de la transferencia de los datos multimedia una vez establecida la llamada.

Dado que Schroedinger no conoce la ubicación de Heisenberg el servidor proxy es el encargado de enrutar el mensaje INVITE. El proxy consulta la SIP URI (sip:werner.heisenberg@munich.de) en su base de datos con el fin de localizar la dirección IP de Heisenberg y envía el mensaje a la dirección IP resuelta agregando un campo VIA al mensaje, el cual identifica al servidor como quien redirige el mensaje INVITE.

INVITE sip:werner.heisenberg@200.201.202.203 SIP/2.0 Via: SIP/2.0/UDP proxy.munich.de:5060;branch=z9hG4bK83842.1 Via: SIP/2.0/UDP 100.101.102.103:5060;branch=z9hG4bKmp17a Max-Forwards: 69 To: Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de> From: E. Schroedinger <sip:schroed5244@aol.com>;tag=42 Call-ID: 10@100.101.102.103 CSeq: 1 INVITE Contact: <sip:schroed5244@pc33.aol.com> Content-Type: application/sdp Content-Length: 159 v=0 o=schroed5244 2890844526 2890844526 IN IP4 100.101.102.103 s=Phone Call c=IN IP4 100.101.102.103 t=0 0 m=audio 49172 RTP/AVP 0 a=rtpmap:0 PCMU/8000

Los mensajes 180 RINGING son mensajes de respuesta que sirven como confirmación a la recepción de los mensajes de solicitud y se generan cuando el mensaje INVITE llega a la contraparte quien lo envía al servidor para que este lo dirija nuevamente al usuario que generó la solicitud. De esta forma, Schroedinger para el ejemplo, quien originó el primer mensaje en la comunicación, sabe que su solicitud fue recibida exitosamente. Cuando la llamada es aceptada por Heisenberg, éste envía un mensaje 200 OK al servidor:

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Real-Time Protocol

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP proxy.munich.de:5060;branch=z9hG4bK83842.1
 ;received=100.101.102.105
Via: SIP/2.0/UDP 100.101.102.103:5060;branch=z9hG4bKmp17a
To: Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>;tag=314159
From: E. Schroedinger <sip:schroed5244@aol.com>;tag=42
Call-ID: 10@100.101.102.103
CSeq: 1 INVITE
Contact: <sip:werner.heisenberg@200.201.202.203>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 159
v=0
o=heisenberg 2890844526 2890844526 IN IP4 200.201.202.203
s=Phone Call
c=IN IP4 200.201.202.203
t=0 0
m=audio 49172 RTP/AVP 0
a=rtpmap:0 PCMU/8000
```

El mensaje 200 OK al igual que el mensaje INVITE es de tipo SIP/SDP, ya que mediante éste mensaje el usuario que recibe la solicitud de llamada envía su información multimedia, dando a conocer al igual que el usuario que origina la llamada, los codecs de audio/video soportados y su dirección IP de contacto, entre otros.

El servidor elimina el primer campo de VIA antes de reenviar el mensaje 200 OK a Schroedinger.

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP 100.101.102.103:5060;branch=z9hG4bKmp17a
To: Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>;tag=314159
From: E. Schroedinger <sip:schroed5244@aol.com>;tag=42
Call-ID: 10@100.101.102.103
CSeq: 1 INVITE
Contact: <sip:werner.heisenberg@200.201.202.203>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 159
v=0
o=heisenberg 2890844526 2890844526 IN IP4 200.201.202.203
c=IN IP4 200.201.202.203
t=0 0
m=audio 49170 RTP/AVP 0
a=rtpmap:0 PCMU/8000
```

La presencia del campo CONTACT en el mensaje 200 OK con la SIP URI de Heisenberg, permite que Schroedinger conozca su ubicación y envíe un ACK directamente sin tener que pasar por el Proxy.

```
ACK sip:werner.heisenberg@200.201.202.203 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 100.101.102.103:5060;branch=z9hG4bKka42
Max-Forwards: 70
To: Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>;tag=314159
From: E. Schroedinger <sip:schroed5244@aol.com>;tag=42
Call-ID: 10@100.101.102.103
CSeq: 1 ACK
Content-Length: 0
```

Mediante el envío directo del mensaje entre los dos agentes usuarios clientes, se evidencia que el servidor SIP no está realmente presente durante la realización de la llamada, éste simplemente facilita la localización y el contacto entre las dos terminales, excluyéndose del camino de señalización una vez no agrega ningún valor en el intercambio de mensajes.

En la Figura 3 se aprecia también que como el servidor no participa en la llamada, la sesión de media se realiza punto-a-punto, usando el protocolo RTP para la trasmisión de los datos.

La sesión de media termina cuando Heisenberg envía un mensaje BYE:

```
BYE sip:schroed5244@pc33.aol.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 200.201.202.203:5060;branch=z9hG4bK4332
Max-Forwards: 70
To: E. Schroedinger <sip:schroed5244@aol.com>;tag=42
From: Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>;tag=314159
Call-ID: 10@100.101.102.103
CSeq: 2000 BYE
Content-Length: 0
```

Schroedinger debe confirmar la finalización de la llamada, por lo tanto envía un mensaje 200 OK en respuesta al mensaje BYE. Nótese que los campos TO y FROM se mantienen igual que en el mensaje BYE, dado que fue Heisenberg quien originó la solicitud.

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP 200.201.202.203:5060;branch=z9hG4bK4332
To: E. Schroedinger <sip:schroed5244@aol.com>;tag=42
From: Heisenberg <sip:werner.heisenberg@munich.de>;tag=314159
Call-ID: 10@100.101.102.103
CSeq: 2000 BYE
Content-Length: 0
```

### **3. ESPECIFICACIONES**

Tanto el servidor SIP como la aplicación utilizada en el dispositivo móvil están implementados basados en los parámetros establecidos por la RFC 3261 – 'SIP: Session Initiation Protocol', con el fin de asegurar la uniformidad en el envío y recepción de los mensajes y la integridad, conformación y estructura de los mismos. Con esto se asegura que los mensajes que sean enviados por un agente usuario (servidor o cliente) sean "entendidos" por el agente usuario receptor y que el protocolo SIP sea utilizado basado en el estándar internacional, evitando modificaciones o alteraciones que pudiesen presentarse en software de código abierto.

#### 3.1. Servidor SIP

El servidor SIP permite la creación y modificación de los usuarios y de sus características. En éste se asigna el número de extensión que utilizará cada usuario y su contraseña.

El SIP Register se encarga de la autorización y el registro de los clientes y el SIP Proxy realiza el enrutamiento de todos los mensajes hacia su destino, controlando la señalización durante el establecimiento de la llamada. El servidor solo genera mensajes de respuesta a las peticiones que realizan los agentes cliente (ej. 200 OK, 100 Trying).

Debido al esquema de red diseñado, mostrado más adelante en la sección 3.3, se implementa en el servidor SIP el RTP Proxy, el cual realiza el enrutamiento de todos los paquetes multimedia (voz) una vez se establece la conexión de una llamada. El RTP Proxy conoce la dirección de contacto de los usuarios mediante la información contenida en los mensajes INVITE y 200 OK que envía la aplicación durante el establecimiento de la comunicación.

#### 3.1.1.ELASTIX<sup>®</sup>

Elastix es una distribución de software libre de un servidor de comunicaciones unificadas, el cual integra en un solo paquete:

- VoIP PBX
- Fax
- Mensajería Instantánea
- Email

Elastix implementa gran parte de su funcionalidad sobre cuatro programas de software muy importantes como son Asterisk, Hylafax, Postfix y Openfire. Estos programas brindan las funciones de PBX, Fax, Email y Mensajería Instantánea, respectivamente. El sistema operativo se basa en la popular distribución de Linux orientada a servidores llamada CentOS [6].

Asterisk es uno de los componentes más importantes de Elastix y quien provee la mayoría de las características telefónicas de la distro<sup>6</sup>. Dada la importancia de Asterisk para el sistema y específicamente para la solución del presente trabajo de grado, se destacan en la siguiente sección sus características más relevantes.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Una distribución Linux (coloquialmente llamada distro) es una distribución de software basada en el núcleo Linux que incluye determinados paquetes de software para satisfacer las necesidades de un grupo específico de usuarios

	Addons			Free		Commercial	
terface	Compleme Endpo Configu	entary Soft int rator	tware HW	Detector		Network Configurator	
/eb In	Frameworl	k/APIs	C	ommunica	tions	Layer	
stix <b>W</b>	Web Frame	ework		Telephony	′	Fax	
Ela:	ECCF			I. M.	Ι	Email	
	Web Serv	vices		Collaboratio	n	Calendaring	
on CentOS	form based	Good H Suppor	W t	Very Stał Linux Ker	ble mel	Active Community	

Figura 4. Esquema general de los componentes de Elastix. Tomada de (4).

En la Figura 4 se muestra la estructura de Elastix, sus componentes y su relación entre sí. Como se puede apreciar, la interface Web de Elastix, recoge todas las funcionalidades que éste provee y brinda un entorno común para la administración de los servicios y la integración de los mismos.

Los principales programas que conforman el núcleo de Elastix en su versión 2.4.0 y que brindan sus principales funcionalidades son:

- Asterisk (V. 1.8.20)
- vTigerCRM<sup>®</sup> and SugarCRM<sup>®</sup> Sistemas de CRM.
- A2Billing<sup>®</sup> Plataforma de tarjetas de llamadas y facturación para Asterisk.
- Flash Operator Panel Consola de Operadora vía Web.
- Hylafax<sup>®</sup> Sistemas de faxes.
- Openfire<sup>®</sup> Servidor de mensajería instantánea.
- FreePBX<sup>®</sup> (V. 2.8.1-16) Interface de administración Web de Asterisk y componente esencial en Elastix.
- Sistemas de Reportes Información detallada de las operaciones de la PBX.
- OSLEC Cancelador de Eco basado en Software.
- Postfix<sup>®</sup> Servidor de correos.
- CentOS (V. 5.9) Sistema Operativo.

#### 3.1.2.ASTERISK<sup>®</sup>

Asterisk es un programa de software libre bajo licencia GPL que proporciona funcionalidades de central telefónica PBX, capaz de convertir un computador ordinario en un servidor de comunicaciones.

Asterisk es un programa rico en características y funcionalidades, como se detalla en su página web [7], dentro de las cuales podemos destacar:

- Autenticación
- Registro de llamadas detallado
- Desvío de llamadas
- Monitoreo de llamadas

- Enrutamiento de llamadas (DID y ANI)
- Transferencia de llamadas
- Identificador de llamadas
- Integración de base de datos
- Marcado por nombre
- Canalización
- VoIP Gateways
- Correo de Voz

### 3.2. Aplicación Móvil

La aplicación móvil actúa como cliente para el servidor; ésta permite la creación de cuentas de usuario donde es posible configurar los datos de conexión al servidor y la información de autorización (usuario y contraseña).

La aplicación móvil es la encargada de realizar todo el proceso de registro del usuario en el servidor y es quien genera todos los mensajes de petición (ej. REGISTER, INVITE, etc.).

Para efectos de la conmutación de la llamada, es la aplicación quien se encarga de comunicar al servidor la modificación de los parámetros de la sesión, es decir, es la aplicación quien informa al servidor el cambio de red enviando su nueva dirección IP de contacto.

#### 3.2.1.SIPDROID

SIPDroid es un cliente VoIP disponible para dispositivos Android que utiliza el protocolo SIP. Es un software de código abierto, bajo licencia GPL desarrollado completamente en Java (Android) y que brinda múltiples posibilidades para la comunicación, entre ellas:

- Formato de cambio de número
- Soporte de varios modos de tonos DTMF<sup>7</sup>
- Soporte para NAT (traducción de direcciones de red)
- Llamadas salientes simultáneas
- Enmascaramiento para llamadas anónimas
- Enrutamiento para llamadas entrantes basado en tiempo
- Transferencia de llamadas asistido
- Conferencias
- Recepción de vídeo

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Dual-tone multi-frequency signaling (DTMF) es usado para señalización en telecomunicaciones sobre líneas de teléfonos análogos.

#### 3.3. Esquema de Red



Figura 5. Diagrama de Red.<sup>8</sup>

La Figura 5, muestra el esquema de red que se implementa para el desarrollo del proyecto. El servidor SIP se encuentra ubicado dentro de una red local con dirección IP estática privada y es exhibido a la red externa en una zona desmilitarizada (DMZ), como se explicará más adelante en la sección 4.1.3 de éste documento.

Por medio de la interfaz WAN del enrutador, se conecta el servidor con la red interna de la Pontificia Universidad Javeriana, para después salir a internet por medio de una dirección IP pública estática, asignada para este desarrollo.

Los dispositivos en cualquier red externa acceden al servidor y establecen una conexión a través de internet, bien sea por medio de la red 3G de un MNO<sup>9</sup> o de una red doméstica provista por un ISP<sup>10</sup>.

Es preciso notar que la comunicación entre el servidor SIP y cualquier dispositivo cliente utilizado para realizar la conexión, está bajo el efecto de múltiples traducciones de direcciones de red por medio de NAT<sup>11</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Autoría propia

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Mobile Network Operator

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Internet Service Provider

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Network Address Translation

### 4. DESARROLLO

El desarrollo de este proyecto de grado, como se ha venido mencionando en este documento, consta de la implementación del servidor SIP que permite la comunicación entre dos terminales y la aplicación móvil para el registro de los usuarios en la terminal. Dadas en el capítulo anterior las especificaciones alcanzadas durante el desarrollo de la solución al problema propuesto, se detalla en esta sección el proceso completo de desarrollo del trabajo de grado, las aproximaciones a la solución y la solución definitiva al problema.

#### 4.1. Implementación KAMAILIO<sup>TM</sup>

El principal requerimiento que debía cumplir el servidor, a parte del registro de los usuarios y el establecimiento de llamada, era que brindara soporte para NAT y que permitiera la configuración de la topología de acuerdo a la ubicación del servidor en la red; esto dado que siempre se debía tener presente la dificultad de transmisión de los datos multimedia (voz) en tiempo real, una vez establecida la llamada.

SIP al ser un protocolo de señalización, es independiente de la transmisión de la voz. Como se mencionó en los capítulos anteriores, SIP permite la inicialización, modificación y finalización de sesiones entre clientes, por medio del direccionamiento de mensajes de petición y respuesta, pero no se involucra directamente en el proceso de comunicación entre usuarios una vez se establece la conexión. Para esto, SIP se apoya específicamente en dos protocolos independientes, que a su vez interactúan entre sí, haciendo posible el envío de paquetes multimedia entre los usuarios.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info			
1093	35.793309	192.168.1.100	190.25.9.107	SIP	573	Status:	200 OK		
1094	35.793376	192.168.1.100	190.25.9.107	SIP	670	Request	NOTIFY	sip:1002@190.25.9.107:6262	
1095	35.861472	190.25.9.107	192.168.1.100	SIP	409	Status:	200 OK		
1215	38.630617	186.99.111.160	192.168.1.100	SIP/SDP	673	Status:		, with session description	
1216	38.630852	192.168.1.100	186.99.111.160	SIP	478	Request	: ACK si	p:1003@186.99.111.160:51033;transport=udp	
1217	38.631080	192.168.1.100	190.25.9.107	SIP/SDP	831	Status:	200 OK	, with session description	
1220	38.731828	192.168.1.100	190.25.9.107	SIP/SDP	831	Status:	200 OK	, with session description	
1227	38.806666	190.25.9.107	192.168.1.100	SIP	456	Request	: ACK si	p:1003@200.3.153.91:5060	
1234	38.857209	190.25.9.107	192.168.1.100	SIP	456	Request	: ACK si	p:1003@200.3.153.91:5060	
1944	43.549992	192.168.1.100	186.99.111.160	SIP	621	Request	OPTION:	5 sip:1003@186.99.111.160:51033;transport=udp	
2248	44.549814	192.168.1.100	186.99.111.160	SIP	621	Request	OPTION:	5 sip:1003@186.99.111.160:51033;transport=udp	
2575	45.549751	192.168.1.100	186.99.111.160	SIP	621	Request	OPTION:	5 sip:1003@186.99.111.160:51033;transport=udp	
	ame 1215: 6	573 bytes on wir	e (5384 bits). (	573 bvte	s capt	ured (53	84 bits)		
⊕ Et	nernet II.	Src: TendaTec 3	a:6b:f0 (c8:3a:	15:3a:6b	:f0).	Dst: Hew	lett- 5a	:39:5e (00:21:5a:5a:39:5e)	
	ternet Prot	ocol Version 4.	Src: 186.99.111	.160 (1	86.99.	111.160)	. Dst: 1	92.168.1.100 (192.168.1.100)	
+ US	er Datagram	Protocol. Src	Port: 51033 (510	33). Ds	t Port	: sip (5	060)	·····	
🗆 Se	sion Initi	ation Protocol	(200)						
	Status-Line	e: SIP/2.0 200 0	к						
	lessage Hea	der							
	lessage Boo	lv							
	Session D	escription Prot	ocol						
	Session	Description Pr	otocol Version (	(v): 0					
	Owner/C	reator, Session	Id (o): 1003@19	2.168.1	.100 0	0 IN IP	4 186.99	.111.160	
	Session	Name (s): Sess	ion SIP/SDP						
	Connect	ion Information	(c): IN IP4 180	5.99.111	.160				
	Conne	ction Network T	ype: IN						
	Conne	ction Address T	ype: IP4						
	Connection Address: 186.99.111.160								
	⊞ Time Description, active time (t): 0 0								
	Media Description, name and address (m): audio 21000 RTP/AVP 0 101								
	Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000								
	🗄 Media A	Attribute (a): r	tpmap:101 teleph	none-eve	nt/800	0			
1									
	Figura 6. Información SDP.								

Mediante el protocolo SDP los usuarios informan los parámetros de la sesión que se va a establecer, sus capacidades de comunicación (codecs) y su dirección IP de contacto, cómo se aprecia en la Figura 6. La información de contacto es fundamental e indispensable para el funcionamiento del protocolo RTP, ya que esta determina el correcto envío y recepción los mensajes multimedia.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se debía utilizar un servidor que permitiera el paso de los mensajes RTP a través de él, con el fin de solucionar el problema de la traducción de direcciones.

Kamailio es un servidor SIP de código abierto bajo licencia GPL y fue utilizado en primera instancia con el fin de comprobar su funcionamiento y sus posibilidades de configuración.

Se instaló la última versión estable del servidor (Kamailio V. 4.0) y adicionalmente, con el fin de atravesar el NAT presente en la red se instaló RTPproxy, un servidor que funciona como módulo interno en Kamailio y que se encarga de la recepción y el envío de los mensajes multimedia entre los usuarios, una vez establecida la llamada.

Kamailio 4.0 y RTPproxy 1.2.1 fueron instalados sobre Ubuntu 12.04 LTS<sup>12</sup> 32Bits, una de las distribuciones más utilizadas de Linux y con mayor soporte en la web.

El proceso de instalación de Kamailio 4.0 se detalla claramente en la referencia bibliográfica [8]. Una vez instalado el servidor, se debe proceder a configurarlo de acuerdo a la necesidad de los usuarios y la estructura de la red.

#### 4.1.1. Configuración RTPproxy

El RTPproxy es configurado por medio del archivo /etc/default/rtpproxy de la siguiente forma:

# Defaults for rtpproxy
# The control socket.
CONTROL\_SOCK="udp:127.0.0.1:7722"
# Additional options that are passed to the daemon.
EXTRA OPTS="-1 200.3.153.91 -m 35000 -M 65000 -d DBUG:LOG LOCAL5 -F"

CONTROL\_SOCK es el parámetro mediante el cual se establece la comunicación entre el RTPproxy y Kamailio. En éste caso, se configuró para que la comunicación se realizara en la dirección local 127.0.0.1 a través del puerto 7722.

EXTRA\_OPTS permite ligar la transmisión de los mensajes RTP a la dirección IP pública del servidor 200.3.153.91 a través de un rango de puertos, que en este caso se estableció entre el 35000 y el 65000. Además se crea un registro de depuración y se brindan permisos de administrador.

#### 4.1.2. Configuración Kamailio

Kamailio se divide principalmente en tres archivos base que permiten modificar independientemente las opciones de arranque, el control y la configuración del sistema.

Para habilitar el arranque de Kamailio se configura el archivo /etc/default/kamailio

#
# Kamailio startup options
#
# Set to yes to enable kamailio, once configured properly.
RUN\_KAMAILIO=yes

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Long-Term Support

```
# User to run as
USER=kamailio
# Group to run as
GROUP=kamailio
# Amount of shared memory to allocate for the running Kamailio server
(in Mb)
SHM_MEMORY=64
# Amount of private memory for each Kamailio process (in Mb)
PKG_MEMORY=4
...
...
```

Aquí se habilita el inicio, el usuario y la memoria compartida del servidor con el sistema operativo sobre el cual se ejecuta.

En el archivo /etc/kamailio/kamctlrc se configuran las variables de control del servidor. Uno de los módulos más importantes de Kamailio es el de administración de la base de datos, lugar donde se almacenan todos los registros del sistema, entre ellos, los datos de los clientes que son utilizados para la conexión y que identifican a cada usuario.

MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacional, multihilo y multiusuario y es usado por Kamailio como base central para la creación, modificación y administración de datos del servidor y de los clientes.

Kamctlrc es el archivo que contiene principalmente los parámetros de configuración de la base de datos MySQL y se configura de la siguiente forma:

```
# $Id$
#
# The Kamailio configuration file for the control tools.
#
...
## your SIP domain
SIP DOMAIN=localhost
## chrooted directory
# $CHROOT DIR="/path/to/chrooted/directory"
....
...
#
# If you want to setup a database with kamdbctl, you must at least
specify
# this parameter.
DBENGINE=MYSOL
## database host
DBHOST=localhost
## database name (for ORACLE this is TNS name)
DBNAME=kamailio
# database path used by dbtext, db berkeley or sqlite
# DB PATH="/usr/local/etc/kamailio/dbtext"
```

```
## database read/write user
DBRWUSER="kamailio"
## password for database read/write user
DBRWPW="kamailiorw"
...
...
```

SIP\_DOMAIN es el parámetro donde se configura el dominio del servidor. Dado que en este caso el servidor no tiene una URL que se resuelva mediante un DNS y que se accede a éste únicamente a través de la dirección IP local, el SIP DOMAIN se configura como "localhost".

En DBENGINE se establece el motor de la base de datos a ser usado por Kamailio, MySQL cómo se mencionó anteriormente. DBHOST indica la ubicación de la base de datos en la red, es decir, en el servidor local. DBNAME, DBRWUSER y DBRWPW son el nombre, el usuario y la contraseña para la administración de la base de datos.

Una vez establecida la configuración, se debe proceder a crear la base de datos en el sistema y así poder agregar los usuarios que podrán registrarse en el servidor. Para esto debe ejecutarse el comando kamdbctl create en una terminal, como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Creación de la base de datos.

Una vez creada la base de datos de Kamailio se debe continuar con la creación de los usuarios en el sistema para de esta forma dar acceso al servidor mediante el mensaje de registro que contiene los datos de autenticación y que se configuran en la aplicación cliente utilizada para realizar la conexión.

Para crear un usuario en la base de datos se ejecuta el comando kamctl add userid password en una terminal, como se muestra en la Figura 8.



En la Figura 8 se aprecia la creación de los usuarios "1001" y "1002" con password "mov123" para ambos. Estos usuarios y contraseñas serán ingresados en la aplicación móvil para establecer el registro en el servidor.

Por último debemos configurar los módulos de Kamailio que serán utilizados durante su ejecución. Estos permiten dotar al servidor de múltiples funcionalidades, según sean requeridas y además establecer algunas variables para su adecuado funcionamiento.

El archivo /etc/kamailio.cfg es el núcleo de configuración del servidor y en éste se establecen los siguientes parámetros:

```
#!KAMAILIO
#
# Kamailio (OpenSER) SIP Server v4.0 - default configuration script
#
     - web: http://www.kamailio.org
      - git: http://sip-router.org
#
#
...
####### Defined Values ########
#!define WITH NAT
#!define WITH MYSQL
#!define WITH AUTH
#!define WITH USRLOCDB
#!define WITH XCAPSRV
# *** Value defines - IDs used later in config
#!ifdef WITH MYSQL
# - database URL - used to connect to database server by modules such
#
       as: auth db, acc, usrloc, a.s.o.
#!ifndef DBURL
#!define DBURL "mysql://kamailio:kamailiorw@localhost/kamailio"
#!endif
#!endif
####### Global Parameters #########
...
fork=yes
children=4
/* uncomment the next line to disable TCP (default on) */
#disable tcp=yes
```

```
/* uncomment the next line to disable the auto discovery of local
aliases based on reverse DNS on IPs (default on) */
#auto aliases=no
/* add local domain aliases */
alias="200.3.153.91"
/* uncomment and configure the following line if you want Kamailio to
bind on a specific interface/port/proto (default bind on all available)
*/
listen=192.168.1.100:5060
/* port to listen to
* - can be specified more than once if needed to listen on many ports */
port=5060
#!ifdef WITH TLS
enable tls=yes
#!endif
#!ifdef WITH XCAPSRV
tcp accept no cl=yes
#!endif
# life time of TCP connection when there is no traffic
# - a bit higher than registration expires to cope with UA behind NAT
tcp connection lifetime=3605
...
####### Modules Section ########
...
#!ifdef WITH MYSQL
loadmodule "db mysql.so"
#!endif
...
#!ifdef WITH AUTH
loadmodule "auth.so"
loadmodule "auth db.so"
#!ifdef WITH IPAUTH
loadmodule "permissions.so"
#!endif
#!endif
...
#!ifdef WITH NAT
loadmodule "nathelper.so"
loadmodule "rtpproxy.so"
#!endif
...
#!ifdef WITH XCAPSRV
loadmodule "xhttp.so"
#!endif
# ------ setting module-specific parameters ------ #
....
....
```

#!ifdef WITH\_NAT
# ----- rtpproxy params ----modparam("rtpproxy", "rtpproxy\_sock", "udp:127.0.0.1:7722")
...
...

En la sección ## Defined Values ## se configuran los módulos que serán utilizados por el núcleo de Kamailio.

WITH\_NAT indica la ejecución del módulo de detección de traducción de direcciones de red, que como se mencionó anteriormente, se soporta en el RTPproxy para el envío de los mensajes multimedia. En la sección ## setting module-specific parameters ## se establece el socket de comunicación entre Kamailio y el RTPproxy, tal y como se configuró en el archivo /etc/default/rtpproxy a través de la dirección local 127.0.0.1 por medio del puerto 7722.

WITH\_MYSQL establece el uso de MySQL como la base de datos utilizada y WITH\_AUTH restringe la conexión únicamente a los usuarios que envíen los datos de autenticación en el mensaje de registro al servidor.

WITH\_USRLOCDB permite mantener activa la ubicación del usuario en la red, actualizando sus datos de conexión si es necesario.

En ## Global Parameters ## se establecen los parámetros globales, entre estos el alias del dominio local, es decir, la dirección IP pública del servidor 200.3.153.91. Además, se indica la dirección IP privada a la cual se debe ligar la recepción y envío de los mensajes 192.168.1.100 y el puerto SIP 5060 establecido en la RFC3261.

Una vez configurado correctamente el archivo kamailio.cfg se procede a iniciar el servidor SIP. Para esto, existen dos archivos de arranque mediante los cuales se da la posibilidad de iniciar, reiniciar o detener tanto Kamailio como RTPproxy. Estos archivos son /etc/init.d/rtpproxy y /etc/init.d/rtpproxy y

El inicio de ambos servicios se ejecuta de la siguiente forma desde una terminal:

```
😕 亘 💿 root@kamailioServ: /home/kamailio
kamailio@kamailioServ:~$ sudo su
[sudo] password for kamailio:
root@kamailioServ:/home/kamailio# /etc/init.d/rtpproxy start
Starting RTP relay: rtpproxy.
root@kamailioServ:/home/kamailio# /etc/init.d/kamailio start
Starting Kamailio:
loading modules under /usr/local/lib/kamailio/modules_k/:/usr/lib/kamailio/modul
es/
Listening on
             udp: 127.0.0.1:5060
             udp: 192.168.1.100:5060
             tcp: 127.0.0.1:5060
             tcp: 192.168.1.100:5060
Aliases:
             tcp: kamailioServ.local:5060
             tcp: localhost:5060
             udp: kamailioServ.local:5060
             udp: localhost:5060
             *: 200.3.153.91:*
kamailio started.
root@kamailioServ:/home/kamailio#
```

Figura 9. Inicio RTPproxy y Kamailio.

Mediante las opciones start, stop y restart se controla la ejecución de los servicios Kamailio y RTPproxy en el sistema. En la Figura 9 se muestra el correcto inicio del servidor, lo que indica que a partir de ese momento se encuentra listo para recibir conexiones entrantes.

#### 4.1.3.DMZ del Servidor Kamailio

Dado que el servidor se encuentra dentro de una LAN y necesita ser expuesto completamente a la red externa para poder ser accedido a través de internet por los clientes, se debe configurar la dirección privada del servidor dentro de una "zona desmilitarizada" o DMZ<sup>13</sup>, mediante la cual se establece una red perimetral, cuya función es permitir la conexión directa entre la red externa (a través de la dirección IP pública) y la red de área local (por medio de la IP privada del servidor).

El host que se encuentra dentro de la DMZ no se puede comunicar con los dispositivos de la red interna, de esta forma se protege el comprometer la seguridad de los demás dispositivos.

Al configurar la DMZ con la dirección IP privada del servidor dentro de la LAN, se indica al enrutador que debe dejar todos los puertos de comunicación abiertos, así se evitan posibles pérdidas de paquetes enviados por el servidor SIP o por el RTP.

Configura avanzac	ciónConfiguración la inalámbrica	Servidor DHCP	Servidor virtual	Configuración de seguridad	Configuración de routing	Herramientas de sistema		
Rango del	puerto de reenvio	Host DMZ C	Configuración	UPNP				
	Nota: Cuando el host DMZ está habilitado, la configuración del firewall del host DMZ no funcionarán							
	Dirección IP del 1	host DMZ	2.168.1.100	I Hai	pilitar			
		C	Ok Cance	elar				

Figura 10. Configuración DMZ.

En la Figura 10 se muestra la configuración de la DMZ en el enrutador, habilitando así la posibilidad de acceso de los clientes al servidor a través de Internet.

#### 4.2. Implementación SIPDROID

Como se mencionó en el capítulo de especificaciones, SIPDroid es la aplicación utilizada como MMC<sup>14</sup>. De código abierto bajo licencia GPL, esta aplicación es desarrollada en Java para el sistema operativo Android y es un cliente VoIP para conexiones a servidores SIP.

#### 4.2.1.SVN y AndroidSDK

Para poder trabajar sobre la aplicación y así verificar características como el flujo de datos durante una llamada, implementación de mensajes SIP y la posibilidad de modificación de los parámetros de la sesión

<sup>13</sup> Demilitarized Zone

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Mobility Management Client

durante una conexión de voz (conmutación de la llamada) se obtuvo el código fuente disponible en una base de datos de Google<sup>15</sup> de tipo SVN<sup>16</sup>.

Mediante el uso del software DownloadSVN (Figura 11) y la ubicación de la troncal de SIPDroid dentro del repositorio disponible en Google, se obtiene el código fuente de la aplicación, completa y lista para ser utilizada en un software IDE<sup>17</sup>.

SVN Source URL Target Folder Type	http://sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/ D:\Downloads\SIPDROID SVN	Browse
Downloading File: http:/ Downloading File: http:/	/sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/provider/TcpTransport.java /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/provider/Transport.java /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/provider/Transport.java /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/provider/Transport.java /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/provider/Transport.java /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio /sipdroid.googlecode.com/svn/trunk/src/org/zoolu/sip/transaction/AckTransactio	java java a nClient.java nServer.java nServer.listener.java aonClient.java X2 rer.java rer.listener.java

Figura 11. DownloadSVN para obtener el código fuente de la aplicación.

El software IDE es el programa que provee un conjunto de herramientas de programación y consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI).

Android provee todo un entorno de desarrollo de aplicaciones sobre su propia plataforma. AndroidSDK<sup>18</sup> proporciona las bibliotecas API<sup>19</sup> y las herramientas de desarrollo necesarias para crear, probar y depurar aplicaciones [9].

ADT Bundle provee todo el sistema de desarrollo necesario para comenzar a trabajar aplicaciones. Este incluye en un solo paquete:

- Eclipse + ADT plugin •
- Android SDK Tools •
- Android Platform-tools •
- Android Emulator Images

Una vez obtenido el AndroidSDK, se debe proceder a importar el código fuente de la aplicación, descargado mediante el SVN.

 <sup>&</sup>lt;sup>15</sup> <u>https://code.google.com/</u>
 <sup>16</sup> Sistema de control de versiones

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Integrated Development Environment

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Software Development Kit

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> Application Programming Interface, es el conjunto de funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

) Import Select		Minimized Select a directory to search for	existing Android projects	
Select an import source:		Root Directory: D:\Downloads' Projects:	SIPDROID	Browse
type filter text		Project to Import	New Project Name	Select All
General     General     General     General     Existing Android Code Into Workspace     C/C++		D:\Downloads\SIPDROID	SipUA	Deselect A Refresh
⊳ 🧽 Git ⊳ 🧽 Install ⊳ ≽ Run/Debug		Copy projects into workspace Working sets	e	
⊳ 🥭 Team ⊳ 📂 XML		Add project to working set     Working sets:	* *	Select
Rack Next > Finish	Cancel	? < Back	Next > Finish	Cancel

Figura 12. Importar código de la Aplicación.

Figura 13. Creación del proyecto en el Workspace.

En la Figura 12 se muestra la pantalla de importación del código fuente, donde se elige importar al Workspace<sup>20</sup> un código Android existente (el anteriormente descargado en algún directorio del PC).

Cuando se selecciona el directorio donde se descargó el código fuente, AndroidSDK reconoce su contenido y genera el proyecto (Figura 13). Al finalizar solo resta configurar las propiedades de la aplicación y así poder explorar, modificar, compilar y depurar el código.

type filter text	Android		÷ -	• 🔶 •
Resource Android	Project Build Target			
Android Lint Preferences Builders Java Build Path Java Build Path Java Code Style Java Compiler Java Compiler Javadoc Location Project References Run/Debug Settings Task Tags Validation	Target Name Android 1.6 Google APIs Android 2.2 Google APIs Android 4.1.2 Google APIs Android 4.2.2 Standard Android plat Library	Vendor Android Open Source Project Google Inc. Android Open Source Project Google Inc. Android Open Source Project Google Inc. Android Open Source Project form 1.6	Platform 1.6 1.6 2.2 2.2 4.1.2 4.1.2 4.2.2	API 4 8 8 16 16 17
	Reference	Project		Add emove Up Down

Figura 14. Configuración API Level.

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Workspace se refiere a un archivo o directorio que permite al usuario recopilar varios archivos y recursos de código fuente y trabajar con ellos como una unidad cohesiva.

En las propiedades del proyecto (clic derecho  $\rightarrow$  properties), en la pestaña Android (Figura 14), se selecciona la mínima versión del sistema operativo con la cual es compatible la aplicación. La versión seleccionada será la base de compilación del proyecto, en este caso, Android 2.2.

El último paso es generar el archivo R.java el cual genera las variables que serán utilizadas y las traduce a posiciones de memoria hexadecimales. Para esto, se debe "limpiar" el proyecto (clic en la pestaña Proyect  $\rightarrow$  Clean), lo que significa que se realiza una pre-compilación del código, se eliminan los errores que contenga el proyecto y se verifican los datos actuales de este.

#### 4.2.2. Funcionamiento de la Aplicación

SIPDroid se divide fundamentalmente en tres capas de aplicación, éstas en conjunto interactúan para brindar la posibilidad de transmitir los mensajes a la capa de transporte del modelo TCP/IP (ver Figura 1), generar la sintaxis, operación y funcionalidades del protocolo SIP y dar la posibilidad al usuario de interactuar con una interfaz gráfica que gestione las actividades que se realizan dentro y fuera de la aplicación (ej. Realizar o recibir una llamada).

SipUA (SIP User Agent) es el proyecto que se genera dentro del IDE y contiene todos los paquetes<sup>21</sup> que conforman la aplicación y los recursos que ésta utiliza. La carpeta 'src' (Figura 15) contiene los paquetes que representan el código fuente de la aplicación. Estos están a su vez agrupados en tres secciones y representan el software base utilizado por SIPDroid y que en conjunto dotan a la aplicación de todas sus funcionalidades.



Figura 15. Paquetes base de SIPDROID.

JSTUN es el software de la capa más baja, en estos paquetes se generan los datagramas que se envían a través de los sockets de la aplicación y su principal funcionalidad es determinar condiciones de red tales como Firewalls o NATs.

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Agrupación de clases e interfaces asociadas

ZOOLU es el software más estrechamente ligado a todo el funcionamiento de SIPDROID. En estos paquetes se encuentran las clases que definen e implementan todo lo concerniente al protocolo SIP, según la RFC 3261. Cada clase representa una característica o funcionalidad de SIP. Entre estas se encuentran los protocolos de transporte (TCP y UDP), el protocolo SDP, la detección de direcciones IP, mensajes, llamada, etc.

SIPDROID es el software propio de la aplicación, estos paquetes contienen principalmente las clases que generan y controlan la interfaz gráfica. Sus principales funcionalidades se centran en ejercer control sobre las acciones externas del usuario (marcar una extensión), internas de la red (desplegar pantalla de timbrado al recibir una solicitud de llamada), interfaz con el sistema operativo, el servidor y otras aplicaciones cliente.

Para mayor información sobre las clases contenidas en los paquetes JSTUN, ZOOLU y SIPDROID consultar el anexo [1] SipUA.

#### 4.2.3.Estados de la Aplicación

SIPDroid realiza sus funciones a partir de estados dentro de ciclos de interrupciones generadas por el usuario o por la interfaz de red mediante la cual se conecta (ej. Pulsación de la pantalla o invitación de llamada).

Al iniciar la aplicación en el móvil Android, cuando la cuenta del usuario ha sido correctamente configurada, se procede a realizar el registro en el servidor SIP establecido. SIPDroid toma la dirección del servidor y envía el mensaje de registro con los datos del usuario, así entra en un ciclo de estados durante toda su ejecución.

En la Figura 16 se muestra la máquina de estados que emula el proceso de registro que se realiza dentro de SIPDroid.



Figura 16. Estados de registro SIPDroid.<sup>22</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Autoría propia

En cuanto al proceso de llamada, este puede describirse también como una máquina de estados, donde estos son dependientes de los mensajes enviados y recibidos por la aplicación y las acciones del usuario durante la comunicación. En este caso se debe tener en cuenta que para el establecimiento y finalización de una llamada existen dos vías: que el usuario sea quien desee iniciar/finalizar una llamada o que este sea invitado a iniciarla o informado para terminarla.

En la Figura 17 se encuentra detallada la máquina de estados que emula el proceso de llamada dentro de la aplicación y las acciones que originan el movimiento del ciclo de comunicación.



Figura 17. Estados de llamada SIPDroid.<sup>23</sup>

#### 4.2.4. Conectividad por medio de 3G y WiFi

Uno de los puntos más importantes y que determina el desarrollo del presente trabajo de grado, es el soporte a la conectividad por medio de redes 3G y WiFi por parte de la aplicación móvil implementada. SIPDroid dentro de sus múltiples funcionalidades brinda esta posibilidad, permitiendo la transmisión y recepción de datos tanto por 3G como por WiFi, dependiendo de su disponibilidad.

Dentro del código de la aplicación, se implementó una prueba para verificar la conexión a una u otra red, haciendo uso de un hilo<sup>24</sup> dentro de la ejecución del programa que no afectaba su normal funcionamiento.

En primera instancia, se definieron las funciones mediante las cuales se verifica la conectividad a la red móvil o a la red WiFi de la siguiente forma:

```
private void WifiaMobile (){
    while (true) {
    final String DEBUG_TAG = "NetworkStatusExample";
    ConnectivityManager connMgr = (ConnectivityManager)
```

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Autoría propia

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Unidad de procesamiento más pequeña que puede ser planificada. Permite a una aplicación realizar varias tareas a la vez (concurrentemente).

```
getSystemService(Context.CONNECTIVITY SERVICE);
    NetworkInfo networkInfo = connMgr.getNetworkInfo(ConnectivityManager.TYPE WIFI);
    boolean isWifiConn = networkInfo.isConnected();
    networkInfo = connMgr.getNetworkInfo(ConnectivityManager.TYPE_MOBILE);
    boolean isMobileConn = networkInfo.isConnected();
    if (isMobileConn==true && isWifiConn==false){
        Log.d(DEBUG_TAG, "Mobile connected: " + isMobileConn);
       Log.d(DEBUG_TAG, "Wifi connected: " + isWifiConn);
        MobileaWifi();
       }
}
private void MobileaWifi (){
       while (true) {
       final String DEBUG_TAG = "NetworkStatusExample";
    ConnectivityManager connMgr = (ConnectivityManager)
    getSystemService(Context.CONNECTIVITY SERVICE);
    NetworkInfo networkInfo = connMgr.getNetworkInfo(ConnectivityManager.TYPE_WIFI);
    boolean isWifiConn = networkInfo.isConnected();
    networkInfo = connMgr.getNetworkInfo(ConnectivityManager.TYPE_MOBILE);
    boolean isMobileConn = networkInfo.isConnected();
    if (isWifiConn==true && isMobileConn==false){
       Log.d(DEBUG_TAG, "Mobile connected: " + isMobileConn);
       Log.d(DEBUG_TAG, "Wifi connected: " + isWifiConn);
        WifiaMobile();
                     }
       }
}
```

Al definir las funciones WifiaMobile y MobileaWifi y almacenar el estado de la conexión en las variables isWifiConn e isMobileConn por medio del método isConnected(), era posible generar un hilo que se ejecutara dentro de la aplicación y que arrojara el estado de la conexión de la siguiente forma:

```
public class TareaParalelo extends AsyncTask<Object, Object, Object> {
```

```
@Override
protected Object doInBackground(Object... params) {
       // TODO Auto-generated method stub
       while(true){
        //final String DEBUG TAG = "NetworkStatusExample";
       ConnectivityManager connMgr = (ConnectivityManager)
        getSystemService(Context.CONNECTIVITY_SERVICE);
        NetworkInfo networkInfo= connMgr.getNetworkInfo(ConnectivityManager.TYPE WIFI);
        boolean isWifiConn = networkInfo.isConnected();
        networkInfo = connMgr.getNetworkInfo(ConnectivityManager.TYPE_MOBILE);
        boolean isMobileConn = networkInfo.isConnected();
        /*Log.d(DEBUG_TAG, "Wifi connected: " + isWifiConn);
        Log.d(DEBUG_TAG, "Mobile connected: " + isMobileConn);
                                                                */
        if (isWifiConn==true && isMobileConn==false){
       WifiaMobile();
        // Log.d(DEBUG_TAG, "Wifi connected: " + isWifiConn);
       if (isMobileConn==true && isMobileConn==false){
       MobileaWifi();
        // Log.d(DEBUG_TAG, "Mobile connected: " + isMobileConn);
                     }
        }
}
```

El estado de la conexión de ambas redes es visible en el  $\log^{25}$  de la aplicación, cómo se muestra en la Figura 18.

tag:	tag:NetworkStatusExample							
_								
L	Time	PID	TID	Application	Tag	Text		
D	05-08 17:44:0	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Mobile connected: true		
D	05-08 17:44:0	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Wifi connected: false		
D	05-08 17:44:1	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Mobile connected: false		
D	05-08 17:44:1	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Wifi connected: true		
D	05-08 17:44:2	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Mobile connected: true		
D	05-08 17:44:2	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Wifi connected: false		
D	05-08 17:44:3	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Mobile connected: false		
D	05-08 17:44:3	11024	11238	com.tesis.sipjppat	NetworkStatusExample	Wifi connected: true		

Figura 18. Log de estado de conexión.

Como resultado de la prueba de conexión de la aplicación, se evidenció una característica del sistema operativo móvil Android que modificaba directamente el planteamiento del desarrollo del presente trabajo de grado.

Al verificar el envío de datos por parte del dispositivo móvil cuando éste se encuentra en presencia de redes 3G y WiFi simultáneamente, se encontró que es el sistema operativo el encargado de decidir la red por medio de la cual envía los datos, dependiendo de su estabilidad y nivel de potencia. Esto quiere decir que la aplicación no tiene permisos de decisión sobre la red por medio de la cual transmite y recibe paquetes, sino que es el sistema operativo como se mencionó anteriormente, quien escoge la red a utilizar.

Las aplicaciones permiten o no la conexión a las redes que soporten, pero no deciden cuando conmutar el envío de datos por una u otra red.

Esta característica de Android (y de la mayoría de sistemas operativos móviles) es clara en cuanto a que si se diera la posibilidad de que cada aplicación instalada en el dispositivo decidiera la red por medio de la cual trasmite y recibe información, se necesitaría mantener activas ambas conexiones todo el tiempo, lo que implica mantener dos direcciones IP (una para datos 3G y otra para WiFi), incrementando ampliamente el consumo de batería, el nivel de procesamiento en el dispositivo y la transmisión de potencia de las señales para cada red.

Es preciso aclarar que este hallazgo no implicó ningún inconveniente en el desarrollo de la solución al problema planteado, sino que por el contrario evita tener que cargar a la aplicación de procesamiento innecesario, dejando la responsabilidad de la conexión al sistema operativo.

Android es entonces, quien al encontrar la presencia de una red WiFi conocida, medir su potencia y verificar su estabilidad a partir del envío de algunos paquetes, establece la conexión y conmuta el envío de datos de la red 3G a la red WiFi, dadas sus características y mayor ancho de banda.

#### 4.2.5. Configuración de cuentas en SIPDroid

En la opción "Ajustes" de SIPDroid, el usuario puede configurar los parámetros más relevantes de la aplicación, entre estos se encuentra la creación de una cuenta SIP, calidad de audio/video y codecs.

Para su configuración la aplicación solicita el ingreso de unos datos mínimos, por medio de los cuales busca el servidor en la red y realiza el registro del cliente.

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Registro oficial de eventos durante un rango de tiempo en particular

En la Figura 19 se muestra la pantalla de configuración de una cuenta SIP dentro de la aplicación SIPDroid. Allí se ingresan los datos de identificación del usuario (usuario de autorización y contraseña) y la información de red del servidor (dirección IP pública y privada) y se habilita el uso tanto de redes 3G como de redes WLAN para el establecimiento de la conexión.

•	📚 🚺 12:09
Cuenta SIP	
Usuario de autorizació	ór
Contraseña	
Servidor o Proxy 200.3.153.91	
Dominio 192.168.1.100	
Nombre de usuaric	
<b>Puerto</b> 5060	
Protocolc	
Usar WLAN	
<b>Usar 3G</b> Seleccione si su operador móvil ace <sup>VoIP</sup>	epta
Û Û	

Figura 19. Configuración de cuenta SIP en la aplicación.

### 4.3. Implementación ELASTIX®

Como se mencionó en el capítulo de especificaciones del sistema, la solución alcanzada y mediante la cual se cumplieron los objetivos propuestos en el proyecto del presente trabajo de grado fue mediante el uso de Elastix como servidor SIP.

Dadas las limitaciones del servidor Kamailio que se presentan en el análisis de resultados (capítulo 5) y después de realizar múltiples intentos para solucionar el problema, se decidió implementar Elastix como servidor SIP, debido a su estructura y soporte como central telefónica PBX. El uso de FreePBX como sistema de administración de Asterisk, dio la posibilidad de establecer la configuración del servidor más claramente y el entorno gráfico permitía su fácil y rápida verificación.

#### 4.3.1.Instalación del Servidor

Durante el proceso de instalación de Elastix se configura uno de los parámetros más importantes del servidor. La dirección IP que se asigna al sistema (Figura 20), no es solamente la dirección IP del servidor,

sino también la ruta de acceso a la consola de administración gráfica. Esta dirección debe ser configurada como estática con el fin de evitar su modificación durante el arranque o reinicio del sistema.

Bienvenido a Elastix	
Intel Corp 00:21:5A:56 ( ) Config (*) Config Direct 192.16	Configuración IPv4 para eth0 pration 82566DM-2 [Gigabit Network Connection] a:39:5E guración de IP dinámica (DHCP) guración manual TCP/IP eión IP Prefijo (Máscara de red) 58.1.100 / 24
<tab>/<alt-tab> entre e</alt-tab></tab>	elementos ¦ <espacio> seleccionar ¦ <f12> siguiente</f12></espacio>
Figura 20	Asignación dirección IP estática del servidor Elastix.

Una vez finalizado el proceso de instalación, se accede al sistema a través del usuario de administración 'root'. Al iniciar la sesión, el servidor nos indica la dirección IP de conexión a la interfaz gráfica de configuración y administración, es decir, la dirección que configuramos anteriormente durante el proceso de instalación, como se muestra en la Figura 21.



#### 4.3.2. Interfaz de Configuración y Administración

El acceso a la interfaz gráfica de Elastix se realiza mediante un navegador web, ya sea en un equipo dentro de la LAN del servidor por medio de la dirección IP privada, a través de internet por medio de la dirección IP pública o en el mismo sistema de Elastix instalando el entorno gráfico de CentOS.

La pantalla inicial de la consola de administración es un tablero de control donde se muestra la información más relevante del servidor. Aquí se puede ver la utilización de recursos del sistema como memoria RAM y CPU, almacenamiento, servicios y actividad de llamadas.

Esta pantalla es netamente informativa (Figura 22) y en ella se evidencia el comportamiento del servidor y su consumo de recursos, dando la posibilidad de prever inestabilidades o ralentizaciones cuando haya alto tráfico de llamadas.



Figura 22. Dashboard de Elastix.

#### 4.3.3. Creación de usuarios y extensiones

El módulo de telefonía de Elastix, que como hemos mencionado en varias ocasiones a lo largo de este documento se soporta en la integración con Asterisk, brinda múltiples opciones de configuración para una central telefónica que se adapte a las necesidades de la red, de los usuarios y de su propósito. Por esta razón Elastix no es solamente un servidor SIP, ya que su sistema soporta la transmisión de mensajes y el establecimiento de comunicaciones por medio de múltiples protocolos. Dado el alcance de este proyecto y su fin, se hace uso expresamente de las funcionalidades como servidor SIP.

Elastix al igual que Kamailio, utiliza como motor de base de datos MySQL, pero a diferencia de ese servidor los módulos de MySQL se encuentran embebidos dentro del sistema y son administrados en su totalidad por Elastix.

El primer paso para la creación de un usuario en el sistema es indicar el tipo de dispositivo mediante el cual se configura la extensión en la terminal. Esto no es más que indicar al servidor el protocolo de comunicación que utilizará el cliente para realizar la conexión y el proceso de llamada. Como ya se dijo, todos los clientes creados en Elastix utilizan SIP (Figura 23).

Device			
	6		
Device	Generic SIP Device	-	
	Generic SIP Device		
$\square$	Generic IAX2 Device		
Submit	Generic ZAP Device		
	Generic DAHDI Device		
	Other (Custom) Device		
	None (virtual exten)		

Figura 23. Tipos de dispositivo soportados por Elastix.

Los parámetros básicos que se deben configurar durante la creación de un usuario son el número de extensión, el nombre de visualización y el alias SIP. El número de la extensión es el número de marcado por medio del cual se contacta al usuario; el nombre de visualización es el texto que identifica al usuario cuando realice una llamada (ej. NN); el SIP alias, es un texto alternativo al número de marcado, si se desea contactar al usuario por un nombre en lugar de un número.

Add Extension	
User Extension	1001
Display Name	Movil 1
CID Num Alias	
SIP Alias	movil1

Figura 24. Creación de una extensión.

En la Figura 24 se muestra la creación básica del usuario y en la Figura 25 se muestran las opciones de configuración para la extensión creada en el sistema.

Las opciones más importantes que se configuran a cada dispositivo son la contraseña de autenticación y el soporte para NAT. Además se da la posibilidad de configurar los codecs que serán permitidos o denegados para el establecimiento de las llamadas y un control de acceso a ciertas direcciones de red, si así se requiere.

Device Options	
This device uses sip technology.	
secret	mov123
dtmfmode	rfc2833
canreinvite	yes
host	dynamic
type	friend
nat	yes
port	5060
qualify	yes
callgroup	
pickupgroup	
disallow	
allow	
dial	SIP/1001
accountcode	
mailbox	1001@device
vmexten	
deny	
permit	0.0.0.0/0.0.0
Custom Context	ALLOW ALL (Default)

Figura 25. Opciones del dispositivo.

Una vez se han creado los usuarios en el sistema, Elastix permite observar su comportamiento en tiempo real a través del Panel Operador como se muestra en la Figura 26. Allí se pueden observar todos los usuarios creados en el sistema, su estado de conexión al servidor y su estado de llamada.

Panel Operador	Panel Operador					
Reload Half waiting time Queue: Calls in Queue: 0	Reload Half waiting time Queue: Calls in Queue: 0					
Extensions	Extensions 1001: Movil 1 1002 00:00:07 1002: Movil 2 1001 00:00:07					
DAHDI Trunks	DAHDI Trunks					
SIP/IAX Trunks	SIP/IAX Trunks					



## 4.3.4. Configuración FreePBX® (ASTERISK®)

FreePBX es una interfaz gráfica GUI<sup>26</sup> para el control y administración de Asterisk. Por defecto, ésta se encuentra embebida dentro de todo el entorno de Elastix; esto hace más sencilla la administración del sistema, pero limita muchas de las características de Asterisk.

Existe la posibilidad de extraer solamente la interfaz gráfica de FreePBX, sin desligarlo de Elastix para tener acceso a todas las opciones de configuración sobre Asterisk de forma independiente.

Al extraer la interfaz gráfica de FreePBX, nos encontramos con una pantalla de estado del sistema, similar al tablero de control de Elastix, pero exclusivo del módulo de Asterisk (Figura 27). Allí encontramos la información más relevante sobre el funcionamiento de la central telefónica, las llamadas y la utilización de recursos del sistema.

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Graphical User Interface

#### **FreePBX System Status**

FreePBX Notices		System Stati	istics
No new notifications		Processor	
show all		Load Average	0.03
		CPU	1%
FreePBX Statistics		Memory	
Total active calls	0	App Memory	33%
Internal calls	0	Swap	0%
External calls	0	Disks	
Total active channels	0		20/
FreePBX Connections		/host	20%
IP Phones Online	2	/dev/shm	0%
		Networks	
Uptime		eth0 receive	1.22 KB/s
		eth0 transmit	1.80 KB/s
System Uptime: 5 hours, 59 minutes			
Asterisk Uptime: 5 hours, 57 minutes		Server Statu	IS
Last Reload: 1 hour, 38 minutes		Asterisk	OK
		Op Panel	ОК
		MySQL	ОК
		Web Server	OK
		SSH Server	OK

Figura 27. Estado del sistema FreePBX.

Para realizar la configuración de la red y el NAT e indicar al sistema la necesidad de utilizar un proxy RTP para la transmisión de datos multimedia entre clientes, se accede a 'Asterisk SIP Settings' dentro de las herramientas de FreePBX. Allí se configuran las direcciones de red (Interna y Externa), se habilita el uso de NAT para todas las comunicaciones, se establecen los parámetros del protocolo RTP y se habilitan los codecs permitidos por el servidor para el empaquetamiento de la voz (Figura 28).

NAT Settings				
NAT	yes	no	never	route
IP Configuration	Public IP	Static IP 💿 D	ynamic IP	
External IP	200.3.153.91			
Local Networks	192.168.1.0	/ 255.255	255.0	
Audio Codecs				
Quida as				
Codecs	☑ ulaw	I gsm	☑ alaw	Ipc10
	speex	g/22	Jpeg	adpcm
	a729	ilbc	a726aal2	□ g/20
	J.		3	
MEDIA & RTP Settings				
Reinvite Behavior		() no	nonat	🔿 undate
RTP Timers	30 (totimeou	it) 300 (rtobold		enalive)
Ittl fillers	50 (itplineot	ar) 500 (repriord		epaine)
Notification & MWI				
MWI Polling Freq	10			
Notify Ringing	Yes	No		
Notify Hold	Yes	No		
Registration Settings				
Registrations	20 (registerti	meout) 0 (re	gisterattempts)	
Registration Times	60 (minexpir	y) 3600 (maxe:	xpiry) 120 (defaulte	expiry)

Figura 28. Configuración Asterisk SIP Settings.

#### 4.3.5.DMZ del Servidor Elastix

Al igual que se realizó con Kamailio, para poder acceder al servidor SIP desde internet, realizar el registro de los usuarios y establecer conexiones de voz, era necesario introducir la dirección IP privada de Elastix dentro de una zona desmilitarizada en el enrutador al cual se conecta el equipo.

Dado que la configuración de red de Elastix se realizó de la misma forma como se configuró con Kamailio (ver Figura 5), la DMZ del servidor no varía y por lo tanto es la misma a la presentada en la sección 4.1.3.

#### 4.4. Conmutación de llamadas de voz entre redes 3G y WiFi a través de Elastix

Gracias a la integración del proxy RTP dentro de la central telefónica de Elastix y su soporte para NAT, se encontró la solución al problema planteado en el proyecto y se logró conmutar una llamada de voz establecida en una red, a otra de diferentes características (3G/WiFi), es decir, realizar un Handover Vertical sin que se cortara la comunicación.

La conmutación de la llamada se efectúa mediante un nuevo mensaje de registro por parte del cliente que realiza el cambio de red. Dado que la totalidad de los paquetes multimedia se envían al servidor y es éste quien los redirige a su destino, el cambio de IP no afecta a la contraparte en la comunicación, ya que ésta seguirá enviando sus paquetes RTP al servidor.

En el flujo de mensajes SIP que se muestra en la Figura 29, se aprecia el esquema del proceso de conmutación logrado, el cual será comprobado más adelante en el análisis de resultados (capítulo 5).

Como se ha dicho ya anteriormente, es el servidor SIP quien se encarga por medio del proxy RTP, de actuar como enrutador de los paquetes multimedia, recibiéndolos y redirigiéndolos a su destino. Es por esto que los clientes en los dispositivos terminales nunca se enteran realmente de la ubicación en la red de su contraparte en la llamada, puesto que la conexión y el intercambio de mensajes y paquetes de voz lo realizan únicamente con el servidor.

Mediante el envío del mensaje REGISTER durante la llamada, el cliente que conmuta de red actualiza su dirección de contacto en el servidor, indicándole de esta forma la nueva IP por medio de la cual realizará la comunicación.

La aplicación móvil actualiza la dirección IP y realiza el envío del mensaje REGISTER al servidor, en el instante en el que el sistema operativo se conecta o desconecta de una red WiFi y modifica la conexión para el envío de datos.

En las Figuras 30 y 31 se aprecia el cambio de dirección IP en el estado del sistema de un dispositivo Android. La Figura 30 muestra la conexión del móvil a la red de datos 3G y la Figura 31 el cambio a una red WiFi.



Figura 29. Flujo de mensajes SIP durante la conmutación de red.<sup>27</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> Autoría propia



Figura 30. Conexión red 3G.

Figura 31. Conexión red WiFi.

# 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto a los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del presente trabajo de grado, es preciso evidenciar la principal diferencia entre la conexión de un dispositivo a una red 3G y a una red WiFi.

Cuando un dispositivo se conecta a una red 3G, éste se identifica con una dirección IP pública que le es asignada exclusivamente para su comunicación y acceso a internet. Cuando el dispositivo establece la conexión a una red WiFi, necesariamente adquiere una dirección IP privada, la cual es traducida por medio de NAT a una dirección IP pública para acceder a internet.

Esta diferencia determinó en gran medida los resultados que se detallan en éste capítulo y fue concluyente para la realización exitosa de la conmutación de una llamada de voz entre una red 3G y una red WiFi.

Las capturas de las pruebas mostradas a continuación y los logs de las llamadas se encuentran en los anexos [2] y [3].

#### 5.1. Resultados obtenidos utilizando el servidor Kamailio

Una vez instalado y configurado el servidor Kamailio tal y como se explica en la sección 4.1, se realizaron las correspondientes pruebas para verificar su correcto funcionamiento.

#### 5.1.1.Comunicación entre redes 3G

Kamailio permitió establecer una comunicación estable y de buena calidad cuando ambos dispositivos se encontraban conectados a redes 3G, como se muestra a continuación.

El servidor recibe el mensaje INVITE originado por el usuario 1002 y lo redirige al usuario 1001. Dado que este mensaje es de tipo SIP/SDP, en él se envía la información de conexión del cliente, indicando la dirección IP por medio de la cual recibirá los paquetes multimedia (voz). El servidor reenvía el mensaje INVITE, así quien recibe la solicitud de llamada obtiene la dirección IP de contacto de quien origina la comunicación.

La Figura 32 muestra el envío del mensaje INVITE al servidor por parte del usuario 1002, siendo este el que origina la llamada y la Figura 33 la redirección del mensaje al usuario 1001, quien recibe la solicitud para el establecimiento de la comunicación. En ambas figuras se destaca la información de contacto contenida en el SDP del mensaje enviado por 1002 y recibido por 1001.

El resultado de la llamada entre dos clientes conectados a redes 3G se aprecia en el flujo de mensajes que atraviesan el servidor durante todo el proceso de establecimiento, comunicación y finalización de la conexión, mediante el uso de Wireshark<sup>28</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> Programa de captura de las tramas de una red. Analizador de paquetes y protocolos.

```
No.
        Time
                            Source
                                                         Destination
                                                                                      Protocol Length Info
                            186.98.217.146 192.168.1.100
                                                                                                         859 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
859 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
  219 70.938083
                                                                                       SIP/SDP
  225 70.953607
                            186.98.217.146
                                                         192.168.1.100
                                                                                       SIP/SDP
                                                                                                                                                  p:1001@19
                                                                                       STP/SDP
                             18
                                                  146
  233 71.152604
                             192.168.1.100
                                                          181.70.239.220
                                                                                       SIP/SDP
                                                                                                         989 Request: INVITE sip:1001@181.70.239.220:
                                                        181.70.239.220
                                                                                                         989 Request: INVITE sip:1001@181.70.239.220:
  234 71.152611 192.168.1.100
                                                                                      SIP/SDP
  243 71.617768
                            192.168.1.100
                                                         181.70.239.220
                                                                                      SIP/SDP
                                                                                                         989 Request: INVITE sip:1001@181.70.239.220:
  249 72.171089 181.70.239.220 192.168.1.100
                                                                                      SIP/SDP
                                                                                                         770 Status: 180 Ringing | , with session des
                                                                                                        686 Status: 180 Ringing | , with session des
  250 72.171441 192.168.1.100 186.98.217.146 SIP/SDP
B Ethernet II, Src: TendaTec_3a:6b:f0 (c8:3a:35:3a:6b:f0), Dst: Asustekc_32:a6:9a (14:da:e9:32:a6:9a
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 186.98.217.146 (186.98.217.146), Dst: 192.168.1.100 (192.168.1.1
Session Initiation Protocol (INVITE)

    Message Header

    Message Body
        Session Description Protocol
               Session Description Protocol Version (v): 0
           B Owner/Creator, Session Id (o): 1002@192.168.1.100 0 0 IN IP4 186.98.217.146
               Session Name (s): Session SIP/SDP

    Time Description, active time (t): 0 0

           ⊞ Media Description, name and address (m): audio 21000 RTP/AVP 9 8 0 97 3 106 101

    Media Attribute (a): rtpmap:9 G722/8000
    G722/80000
    G722/8000
    G72

    Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000

    Media Attribute (a): rtpmap:97 speex/8000

    Media Attribute (a): rtpmap:3 GSM/8000
    ■

           ⊞ Media Attribute (a): rtpmap:106 BV16/8000

    Media Attribute (a): fmtp:101 0-15

           ⊞ Media Description, name and address (m): video 21070 RTP/AVP 103
```

Figura 32. INVITE 3G de 1002 al Servidor Kamailio.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info					
219	70.938083	186.98.217.146	192.168.1.100	SIP/SDP	859	Request:	INVITE	sip:1	001@192.	168.1.100	
225	70.953607	186.98.217.146	192.168.1.100	SIP/SDP	859	Request:	INVITE	sip:1	001@192.	168.1.100	
231	71.151793	186.98.217.146	192.168.1.100	SIP/SDP	1044	Request:	INVITE	sip:1	001@192.	168.1.100	
233	71.152604	192.168.1.100	181.70.239.220	SIP/SDP	989	Request:	INVITE	sip:1	001@181.	70.239.22	0:
234	71.152611	192.168.1.100	181.70.239.220	SIP/SDP	989	Request:	INVITE	sip:1	001@181.	70.239.22	0:
243	71.617768	192.168.1.100	181.70.239.220	SIP/SDP	989	Request:	INVITE	sip:1	001@181.	70.239.22	0:
249	72.171089	181.70.239.220	192.168.1.100	SIP/SDP	770	Status: 1	L80 Ring	jing	, with	session d	les
250	72.171441	192.168.1.100	186.98.217.146	SIP/SDP	686	Status: 1	L80 Rind	ing	, with	session d	es
🗄 Fr	ame 233: 98	39 bytes on wire	(7912 bits), 9	89 bytes	captu	red (7912	bits)				
🕀 Et	hernet II,	Src: AsustekC_3	2:a6:9a (14:da:	e9:32:a6	:9a),	Dst: Tend	атес_За:	:6b:f0	(c8:3a	:35:3a:6b:	fC
🗄 In	ternet Prot	cocol Version 4,	Src: 192.168.1	.100 (19	2.168.	1.100), D	st: 181.	70.23	9.220 (	181.70.239	9.2
🕀 US	er Datagram	1 Protocol, Src	Port: sip (5060)	), Dst P	ort: 6	0223 (602	23)				
🗆 Se	ssion Initi	iation Protocol	(INVITE)								
+	Request-Lir	ne: INVITE sip:1	001@181.70.239.2	220:6022	3;tran	sport=udp	SIP/2.0	)			
÷	Message Hea	ader									
	Message Boo	ly									
	Session D	Description Prot	ocol								
	Session	n Description Pr	otocol Version	(v): 0							
	🗄 Owner/C	reator, Session	Id (o): 1002@1	92.168.1	.100 0	0 IN IP4	186.98.	217.1	46		
	Session	n Name (s): Sess	ion SIP/SDP								
	🗄 Connect	ion Information	(c): IN IP4 18	6.98.217	.146						
	🗄 Time De	escription, acti	ve time (t): 0 (	0							
	🗄 Media 🛙	Description, nam	ie and address (i	n): audi	o 2100	0 RTP/AVP	9809	9731	06 101		
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	tpmap:9 G722/80	00							
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	tpmap:8 PCMA/80	00							
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	tpmap:0 PCMU/80	00							
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	tpmap:97 speex/	8000							
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	tpmap:3 G5M/8000	0							
	🗄 Media 🗚	Attribute (a): r	tpmap:106 BV16/	8000							
	🗄 Media 🗚	Attribute (a): r	tpmap:101 telep	hone-eve	nt/800	0					
	🗄 Media 🗚	Attribute (a): f	mtp:101 0-15								
	🗄 Media 🛙	Description, nam	ie and address (i	n): vide	o 2107	0 RTP/AVP	103				
	🗄 Media 🗚	Attribute (a): r	tpmap:103 h263-	1998/900	00						

Figura 33. INVITE 3G del Servidor Kamailio a 1001.

Cuando el usuario 1001 recibe la solicitud y contesta la llamada, envía un mensaje 200 OK de tipo SIP/SDP de la misma forma como el usuario 1002 envió el mensaje INVITE. En el momento en el cual el usuario 1002 recibe el mensaje 200 OK por parte del servidor, extrae la información de contacto del

usuario 1001 contenida en el SDP, permitiéndole iniciar la transmisión de paquetes de voz. El proceso es el mismo al explicado anteriormente y el flujo de mensajes se muestra en las Figuras 34 y 35.

De esta forma se logró realizar una llamada exitosa, a través del servidor Kamailio, transmitiendo los paquetes de voz directamente de un cliente a otro. Como ambos usuarios obtienen la dirección pública de su contraparte y ésta es un identificador único para un dispositivo en una red 3G, el servidor RTP nunca entra en funcionamiento, haciendo que los clientes envíen directamente el contenido multimedia de un extremo de la comunicación al otro.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info					
201	75 201221	192.108.1.100	102 168 1 100	SIP/SUP	989	Request:	INVITE	STP:10	01@101.	160 1	9.220:
266	75.381221	186.98.217.146	192.168.1.100	SIP/SDP	1044	Request:	INVITE 100 pdm	S1p:10	01@192.	168.1	. 100
267	75.381502	192.168.1.100	186.98.217.146	SIP/SDP	686	status:	180 R1n	ging	, with	sessi	on des
270	75.698061	181./0.239.220	192.168.1.100	SIP/SDP	821	Status:	200 OK	, wit	h sess	ion de	script
271	75.698372	192.168.1.100	186.98.217.146	SIP/SDP	737	Status:	200 OK	, wit	h sessi	ion de	script
273	77.051513	181.70.239.220	192.168.1.100	SIP/SDP	821	Status:	200 OK	, wit	h sessi	ion de	script
274	77.051797	192.168.1.100	186.98.217.146	SIP/SDP	737	Status:	200 OK	, wit	h sessi	ion de	script
284	80.505800	186.98.217.146	192.168.1.100	SIP/SDP	1044	Request:	INVITE	sip:10	01@192.	168.1	.100
H Fr	ame 270: 82	21 bytes on wire	(6568 bits), 82	21 bytes	captu	red (6568	3 bits)				
I FT	hernet TT.	Src: TendaTec 3	a:6b:f0 (c8:3a:	35:3a:6b	:f0).	Dst: Asus	stekc 32	:a6:9a	(14:da	:e9:37	2:a6:9a
Tn Tn	ternet Prot	ocol Version 4.	Src: 181.70.23	9,220 (1)	81.70.	239, 220)	Dst: 1	92.168.	1.100	(192.1)	68.1.1
⊕ Us	er Datagran	n Protocol. Src	Port: 34569 (345	569). Ds	t Port	: sip (50	)60)				
E Se	ssion Initi	ation Protocol	(200)								
<b></b>	Status-Line	e: SIP/2.0 200 0	K								
Ŧ	Message Hea	ader									
Ξ	Message Boo	dv									
	∃ Session [	Description Prot	ocol								
	Session	n Description Pr	otocol Version (	(v): 0							
	🗄 Owner/C	reator, Session	Id (o): 1001@19	92.168.1	.100 0	O IN IP4	181.70	. 239. 22	20		
	Session	n Name (s): Sess	ion SIP/SDP								
	E Connect	tion Information	(c): IN IP4 181	L.70.239	. 220						
	🗄 Time De	escription, acti	ve time (t): 0 (	)							
	🗄 Media 🛙	Description, nam	e and address (m	n): audi	o 2100	0 RTP/AVE	9 101				
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	tpmap:9 G722/800	00							
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	tpmap:101 teleph	none-eve	nt/800	0					
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): f	mtp:101 0-15		-						
	🗄 Media 🛙	Description, nam	e and address (m	n): vide	o 2107	0 RTP/AVE	2 103				
	🕀 Media 🖉	Attribute (a): r	tpmap:103 h263-1	1998/900	00						

Figura 34. 200 OK 3G de 1001 al Servidor Kamailio.

Protocol Length Info SIP/SDP 989 Request: INVITE sip:1001@181.70.239.220: Destination No. Time Source 261 74.617746 192.168.1.100 181.70.239.220 266 75.381221 186.98.217.146 192.168.1.100 SIP/SDP 1044 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100 267 75.381502 192.168.1.100 186.98.217.146 STP/SDP 686 Status: 180 Ringing | , with session des 270 75.698061 181.70.239.220 192.168.1.100 SIP/SDP 821 Status: 200 OK | , with session descript tatus on descript 273 77.051513 181.70.239.220 192.168.1.100 821 Status: 200 OK | , with session descript STP/SDP 274 77.051797 192.168.1.100 186.98.217.146 SIP/SDP 737 Status: 200 OK | , with session descript 284 80.505800 186.98.217.146 192.168.1.100 SIP/SDP 1044 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100 ⊕ Frame 271: 737 bytes on wire (5896 bits), 737 bytes captured (5896 bits) ⊞ Ethernet II, Src: AsustekC\_32:a6:9a (14:da:e9:32:a6:9a), Dst: TendaTec\_3a:6b:f0 (c8:3a:35:3a:6b:f0) ∃ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.100 (192.168.1.100), Dst: 186.98.217.146 (186.98.217.1 ⊞ User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: 60450 (60450) Session Initiation Protocol (200) Status-Line: SIP/2.0 200 OK Hessage Header Message Body Session Description Protocol Session Description Protocol Version (v): 0 B Owner/Creator, Session Id (o): 1001@192.168.1.100 0 0 IN IP4 181.70.239.220 Session Name (s): Session SIP/SDP ⊞ Time Description, active time (t): 0 0 ⊞ Media Description, name and address (m): audio 21000 RTP/AVP 9 101 Media Attribute (a): fmtp:101 0-15
 ⊞ Media Description, name and address (m): video 21070 RTP/AVP 103 

Figura 35. 200 OK 3G del Servidor Kamailio a 1002.

En la Figura 36 se puede ver un análisis gráfico de la comunicación VoIP capturada por Wireshark donde se muestran los paquetes SIP que pasaron por el servidor para la realización de la llamada. Allí se muestran los paquetes en una línea de tiempo desde que se envía el primer mensaje INVITE, hasta que finaliza la comunicación con un mensaje BYE. El esquema muestra las direcciones IP de los clientes en ambos extremos del gráfico y la dirección IP del servidor en el medio actuando como proxy.

Time	186.98.217.146 181.70.239.220 192.168.1.100	Comment
70.938083	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPType-97 G	SIP From: <sip:1002@192168.1.100 td="" to:<sip:1001@192.168.1.100<=""></sip:1002@192168.1.100>
70.938391	407 Proxy Authentication Required	SIP Status
70.953607	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPType-97 G	SIP From: <sip:1002@192.168.1.100 td="" to:<sip:1001@192.168.1.100<=""></sip:1002@192.168.1.100>
70.953909	407 Proto Authentication Required	SIP Status
71.123140		SIP Request
71.151793	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPType-97 G	SIP From: <sip:1002@192.168.1.100 td="" to:<sip:1001@192.168.1.100<=""></sip:1002@192.168.1.100>
71.152551	100 trying - your call is important to us	SIP Status
71.152604	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPTyp	SIP Request
71.152611	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPTyp	SIP Request
71.160307		SIP Request
71.448019	100 Trying	SIP Status
71.617768	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPTyp	SIP Request
72.171089	180 Ringing SDP/g722 telephone-eventRTP1	SIP Status
72.171441	180 Ringing SDP (g722 telephone-eventRTPType-1	SIP Status
72.617693	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPTyp	SIP Request
74.617746	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPTyp	SIP Request
75.381221	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPType-97 G	SIP From: <sip:1002@192.168.1.100 td="" to:<sip:1001@192.168.1.100<=""></sip:1002@192.168.1.100>
75.381502	180 Ringing SDP (g722 telephone-eventRTPType-1	SIP Status
75.698061	200 OK SDP (g722 telephone-eventRTPType-	SIP Status
75.698372	200 OK SDP (g722 telephone-eventRTPType-101 h2	SIP Status
77.051513	200 OK SDP (g722 telephone-eventRTPType-	SIP Status
77.051797	200 OK SDP (g722 telephone-eventRTPType-101 h2	SIP Status
80.505800	INVITE SDP (g722 g711A g711U speexRTPType-97 G	SIP From: <sip:1002@192.168.1.100 td="" to:<sip:1001@192.168.1.100<=""></sip:1002@192.168.1.100>
80.506097	200 OK SDP (g722 telephone-eventRTPType-101 h2	SIP Status
81.337503		SIP Request
81.337966		SIP Request
82.926890	200 OK SDP (g722 telephone-eventRTPType-	SIP Status
82.927176	200 OK SDP (g722 telephone-eventRTPType-101 h2	SIP Status
88.350995	ACK	SIP Request
88.351394	(5060) ACK	SIP Request
154.698243	(60450) BYE	SIP Request
154.698635		SIP Request
154.747105	(60450). BYE ► (5060)	SIP Request
154.836404	(5060) 200 OK	SIP Status
154.836666	(60450) 200 OK	SIP Status

Figura 36. Análisis gráfico llamada VoIP 3G - 3G Kamailio.

Como análisis de la calidad percibida en el dispositivo móvil durante la comunicación, se obtuvo un log de las variables medidas por SIPDroid una vez se establece la conexión, las cuales permiten tener una representación cuantitativa del estado y estabilidad de la llamada.



Figura 37. Porcentaje de Pérdida llamada 3G – 3G Kamailio.



Figura 38. Tiempo de Retraso llamada 3G - 3G Kamailio.

La Figura 37 muestra el porcentaje de perdida de datos en la comunicación. En ella se puede observar que la perdida se mantiene por debajo del 20% durante casi la totalidad del tiempo de llamada y que en algunos puntos se perdió la recepción de paquetes (silencio de voz), los cuales representan un pico del 100% durante unos pocos segundos.

La Figura 38 es la representación en tiempo (milisegundos) del retraso que sufren los paquetes en ser recibidos por el cliente. Tiempos menores a 200 milisegundos son imperceptibles por el usuario; tiempos mayores ocasionan silencios esporádicos que entrecortan la voz y hacen incomoda la comunicación.

#### 5.1.2. Comunicación entre redes WiFi

En este punto del desarrollo del proyecto se encontró el principal inconveniente, que derivó en la búsqueda de una nueva solución al problema.

En la prueba de comunicación entre redes 3G (sección 5.1.1) se mostró que el RTPproxy no entra en funcionamiento y que Kamailio envía la información de contacto de los usuarios sin realizar ninguna modificación. Ya que la dirección IP de los dispositivos cuando estos se conectan a una red 3G es una dirección pública, asignada exclusivamente a cada una de las terminales móviles, esta situación no representa ningún problema en el establecimiento de la comunicación entre los dos usuarios.

En el momento en el que un dispositivo se conecta a una red WiFi, como se explicó al inicio de este capítulo, adquiere una dirección IP privada que es traducida a una dirección IP pública por medio de NAT. Esta dirección IP pública, a diferencia de la asignada a través de 3G no representa a un solo dispositivo, ya que ésta identifica la red WiFi en su totalidad, es decir, por medio de ella se conectan a internet todos los dispositivos que se encuentren dentro de la LAN de la red WiFi (ver Figura 5).

En la prueba realizada, tanto el usuario 1001 como el usuario 1002 se encuentran dentro de la LAN de diferentes redes WiFi. Al enviar un mensaje INVITE al servidor para establecer una llamada, el usuario 1002 envía su dirección IP privada en la información de contacto dentro del SDP, por lo que el RTPproxy debe traducirla a la dirección del servidor para recibir los paquetes de voz y redirigirlos a cada cliente según su destino.

En la Figura 39, el servidor recibe el mensaje INVITE proveniente del usuario 1002 quien origina la llamada y lo reenvía al usuario 1001 sin que el RTPproxy modifique la dirección de contacto, como se ve en la Figura 40. El usuario 1001 recibe en la solicitud de llamada una dirección IP privada que no conoce y de igual forma sucede cuando éste contesta la llamada y envía el mensaje 200 OK, en el cual envía su dirección IP privada al servidor (Figura 41) que posteriormente es enviada al usuario 1002 sin ser traducida (Figura 42).

No	o. Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info					
	7 3.569644	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	830	Request:	INVITE	sip:10	01@192.	168.1	.100
	10 3.608583	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	1015	Request:	INVITE	sip:10	01@192.	168.1	.100
	12 3.610088	192.168.1.100	186.28.198.145	SIP/SDP	998	Request:	INVITE	sip:10	01@192.	168.0	.4:537
	13 4.067540	192.168.1.100	186.28.198.145	SIP/SDP	998	Request:	INVITE	sip:10	01@192.	168.0	.4:537
	26 5.608037	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	1015	Request:	INVITE	sip:10	01@192.	168.1	.100
	35 8.936386	186.28.198.145	192.168.1.100	SIP/SDP	758	Status:	200 OK	, with	n sessi	ion de	script
	36 8.937177	192.168.1.100	190.25.8.57	SIP/SDP	704	Status:	200 OK	, with	n sessi	ion de	script
+	Frame 10: 10	15 bytes on wire	e (8120 bits), 1	015 byte	s capt	ured (812	20 bits)				
÷	Ethernet II,	Src: Tp-LinkT_d	6:33:ae (00:23:	cd:d6:33	:ae),	Dst: Azur	ewav_53	:5e:3e	(74:2f)	:68:53	:5e:3e
÷	Internet Pro	tocol Version 4,	Src: 190.25.8.	57 (190.	25.8.5	7), Dst:	192.168	.1.100	(192.16	58.1.1	.00)
±	User Datagra	m Protocol, Src	Port: 27433 (274	433), Ds	t Port	: sip (50	)60)				
	Session Init	iation Protocol	(INVITE)			•					
	🗄 Request-Li	ne: INVITE sip:1	.001@192.168.1.1	00 SIP/2	.0						
	🗄 Message He	ader .									
	🗏 Message Bo	dy									
	Session I	Description Prot	:ocol								
	Sessio	n Description Pr	otocol Version	(v): 0							
	🗄 Owner/o	Creator, Sessior	n Id (o): 1002@1	92.168.1	.100 0	O IN IP4	192.16	8.1.110			
	Sessio	n Name (s): Sess	ion SIP/SDP								
	E Connect	tion Informatior	n (c): IN IP4 19	2.168.1.	110						
	🗄 Time D	escription, acti	ve time (t): 0	0							
	🗄 Media I	Description, nam	ne and address (i	m): audi	o 2100	0 RTP/AVE	8097	3 106	101		
	🗄 Media 🦯	Attribute (a): r	tpmap:8 PCMA/80	00							
	🗄 Media 🤇	Attribute (a): r	tpmap:0 PCMU/80	00							
	🗄 Media 🤇	Attribute (a): r	tpmap:97 speex/	8000							
	🗄 Media 🤇	Attribute (a): r	tpmap:3 GSM/800	0							
	🗄 Media 🤇	Attribute (a): r	tpmap:106 BV16/	8000							
	🗄 Media 🤉	Attribute (a): r	tpmap:101 telep	hone-eve	nt/800	0					
	🗄 Media 🤇	Attribute (a): f	mtp:101 0-15								
	🗄 Media I	Description, nam	ne and address (	m): vide	o 2107	0 RTP/AVE	P 103				
	🗄 Media /	Attribute (a): r	tpmap:103 h263-	1998/900	00						

Figura 39. INVITE WiFi de 1002 al Servidor Kamailio.

```
No.
       Time
                             Source
                                                           Destination
                                                                                          Protocol Length Info
                                                                                          SIP/SDP 830 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
                                                            192.168.1.100
     7 3.569644
                             190.25.8.57
    10 3.608583
                                                                                           SIP/SDP 1015 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
                              190.25.8.57
                                                            192.168.1.100
                                                                                           SIP/SDP
                                                                                                              998 Request
    13 4.067540
                            192.168.1.100
                                                           186.28.198.145
                                                                                          SIP/SDP
                                                                                                              998 Request: INVITE sip:1001@192.168.0.4:537
    26 5.608037
                              190.25.8.57
                                                            192.168.1.100
                                                                                          SIP/SDP
                                                                                                           1015 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
    35 8.936386
                             186.28.198.145 192.168.1.100
                                                                                          SIP/SDP
                                                                                                             758 Status: 200 OK | , with session descript
    36 8.937177 192.168.1.100 190.25.8.57
                                                                                          SIP/SDP
                                                                                                            704 Status: 200 OK | , with session descript
⊕ Frame 12: 998 bytes on wire (7984 bits), 998 bytes captured (7984 bits)

    Bthernet II, Src: Azurewav_53:5e:3e (74:2f:68:53:5e:3e), Dst: Tp-LinkT_d6:33:ae (00:23:cd:d6:33:ae)
    Content of the statement of t
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.100 (192.168.1.100), Dst: 186.28.198.145 (186.28.198.1
Session Initiation Protocol (INVITE)
    🗄 Message Header
    ⊟ Message Body
        Session Description Protocol
                Session Description Protocol Version (v): 0
            B Owner/Creator, Session Id (o): 1002@192.168.1.100 0 0 IN IP4 192.168.1.110
                Session Name (s): Session SIP/SDP

    Bedia Description, name and address (m): audio 21000 RTP/AVP 8 0 97 3 106 101

    Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000

           Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000

    Media Attribute (a): rtpmap:97 speex/8000

           Media Attribute (a): rtpmap:3 G5M/8000

    Media Attribute (a): rtpmap:106 BV16/8000

    Media Attribute (a): rtpmap:101 telephone-event/8000

    Media Attribute (a): fmtp:101 0-15

           ⊞ Media Description, name and address (m): video 21070 RTP/AVP 103
           ⊞ Media Attribute (a): rtpmap:103 h263-1998/90000
```

Figura 40. INVITE WiFi del Servidor Kamailio a 1001.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info				
	7 3.569644	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	830	Request:	INVITE	sip:1001	@192.1	68.1.100
	10 3.608583	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	1015	Request:	INVITE	sip:1001	@192.1	68.1.100
	12 3.610088	192.168.1.100	186.28.198.145	SIP/SDP	998	Request:	INVITE	sip:1001	@192.1	68.0.4:537
	13 4.067540	192.168.1.100	186.28.198.145	SIP/SDP	998	Request:	INVITE	sip:1001	@192.1	68.0.4:537
	26 5.608037	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	1015	Request:	INVITE	sip:1001	@192.1	68.1.100
	35 8.936386	186.28.198.145	192.168.1.100	SIP/SDP	758	Status:	200 ок	, with	sessio	n descript
	36 8.937177	192.168.1.100	190.25.8.57	SIP/SDP	704	Status:	200 ок	, with	sessio	n descript
+	Frame 35: 75	8 bytes on wire	(6064 bits), 75	8 bytes	captur	ed (6064	bits)			
÷	Ethernet II,	Src: Tp-LinkT_C	l6:33:ae (00:23:	cd:d6:33	:ae),	Dst: Azur	ewav_53	:5e:3e (7	4:2f:6	58:53:5e:3
÷	Internet Pro	tocol Version 4,	Src: 186.28.19	8.145 (1	86.28.	198.145),	Dst: 1	92.168.1.	100 (1	92.168.1.1
÷	User Datagra	m Protocol, Src	Port: 10073 (10	073), Ds	t Port	: sip (50	60)			

```
Session Initiation Protocol (200)
```

⊞ Status-Line: SIP/2.0 200 OK

```
🗄 Message Header
```

⊟ Message Body

Session Description Protocol

Session Description Protocol Version (v): 0

⊞ Owner/Creator, Session Id (o): 1001 1368412357468 0 IN IP4 192.168.0.4

Session Name (s): SIP\_CALL B Connection Information (c): IN IP4 192.168.0.4

Media Description, name and address (m): audio 55836 RTP/AVP 8 0 101
 ■

Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000

⊞ Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000

Media Attribute (a): fmtp:101 0-15

Media Attribute (a): sendrecv

Figura 41. 200 OK WiFi de 1001 al Servidor Kamailio.

```
Time
              Source
                             Destination
                                            Protocol Length Info
No.
   7 3.569644
              190.25.8.57
                             192.168.1.100
                                            SIP/SDP
                                                     830 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
  10 3.608583
                             192.168.1.100
                                            SIP/SDP
                                                     1015 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
              190.25.8.57
                                                     998 Request: INVITE sip:1001@192.168.0.4:537
  12 3,610088
              192.168.1.100
                             186.28.198.145
                                            SIP/SDP
  13 4.067540
              192.168.1.100
                             186.28.198.145
                                            SIP/SDP
                                                      998 Request: INVITE sip:1001@192.168.0.4:537
  26 5.608037
              190.25.8.57
                             192.168.1.100
                                            SIP/SDP
                                                     1015 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100
                                            SIP/SDP
  35 8.936386
              186.28.198.145
                             192.168.1.100
                                                     758 Status: 200 OK | , with session descript
                                                      704
                                                                  200 OK
⊕ Frame 36: 704 bytes on wire (5632 bits), 704 bytes captured (5632 bits)

    ⊞ Ethernet II, Src: Azurewav_53:5e:3e (74:2f:68:53:5e:3e), Dst: Tp-LinkT_d6:33:ae (00:23:cd:d6:33:ae)

∃ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.100 (192.168.1.100), Dst: 190.25.8.57 (190.25.8.57)
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: 27433 (27433)
Session Initiation Protocol (200)
  H Message Header
  Message Body
    Session Description Protocol
       Session Description Protocol Version (v): 0
      ⊕ Owner/Creator, Session Id (o): 1001 1368412357468 0 IN IP4 192.168.0.4
       Session Name (s): SIP_CALL

    ⊞ Time Description, active time (t): 0 0

     ⊞ Media Description, name and address (m): audio 55836 RTP/AVP 8 0 101

    Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000

      Media Attribute (a): rtpmap:101 telephone-event/8000

    Media Attribute (a): fmtp:101 0-15

       Media Attribute (a): sendrecv
                         Figura 42. 200 OK WiFi del Servidor Kamailio a 1002.
```

Así, cuando se inicia la comunicación los paquetes de voz que envían ambos usuarios se pierden dentro de la red, ya que las direcciones IP privadas no existen en internet.

A pesar de los múltiples intentos de configuración del RTPproxy, que no se detallan en este documento, fue imposible acoplar su funcionamiento al del servidor Kamailio, por lo tanto se exploró la alternativa del servidor Elastix, obteniendo resultados satisfactorios que se muestran a continuación.

#### 5.2. Resultados obtenidos utilizando el servidor Elastix

Elastix es el servidor SIP que permitió superar los problemas inherentes a la conexión de un dispositivo a través de un NAT, de tal forma que los paquetes de voz RTP sean enviados exitosamente a los usuarios, sin importar su ubicación dentro de la red.

Las pruebas realizadas muestran el funcionamiento del servidor durante el intercambio de mensajes SIP y durante la comunicación de una llamada de voz mediante el direccionamiento de los paquetes RTP. Además, se realiza la conmutación desde una red 3G a una red WiFi y viceversa, mostrando el envío del mensaje REGISTER por parte del cliente y la continuación de la llamada durante el Handover.

#### 5.2.1.Conmutación de llamada – 3G a WiFi

En esta prueba, el usuario 1001 y el usuario 1002 se encuentran conectados a través de la red de datos 3G de dos operadores móviles. El usuario 1002 inicia la llamada por medio del envío al servidor de un mensaje INVITE que contiene en el SDP su dirección IP pública de contacto (Figura 43). El servidor modifica la información suministrada por el cliente 1002 y establece la dirección de contacto como su propia IP pública (Figura 44). Cuando el usuario 1001 recibe la solicitud de llamada, toma la IP pública del servidor como la dirección a la cual debe enviar los paquetes de voz durante la comunicación. El mensaje 200 OK que se envía al contestar la llamada (Figura 45) es igualmente modificado por el servidor, estableciendo la dirección de contacto del usuario 1001 como su propia IP pública (Figura 46).

Protocol Length Info No. Time Source Destination 318 14.255784 181.236.235.190 192.168.1.100 SIP/SDP 840 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100 840 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100 361 14.936166 181.236.235.190 192.168.1.100 SIP/SDP 190 192.168.1.100 0 186.181.241.158 SIP/SDP Reaues 400 15.943509 192.168.1.100 995 Request: INVITE sip:1001@127.0.0.1:5442 995 Request: INVITE sip:1001@127.0.0.1:5442 430 16.113919 192.168.1.100 186.181.241.158 SIP/SDP 616 Status: 180 Ringing | , with session de 441 16.746455 186.181.241.158 192.168.1.100 SIP/SDP 616 Status: 180 Ringing 443 16.795721 186.181.241.158 192.168.1.100 STP/SDP . with session de ⊕ Ethernet II, Src: TendaTec\_3a:6b:f0 (c8:3a:35:3a:6b:f0), Dst: Hewlett-\_5a:39:5e (00:21:5a:5a:39:5e B Internet Protocol Version 4, Src: 181.236.235.190 (181.236.235.190), Dst: 192.168.1.100 (192.168.1 ⊞ User Datagram Protocol, Src Port: 37837 (37837), Dst Port: sip (5060) Session Initiation Protocol (INVITE) Message Header Message Body Session Description Protocol Session Description Protocol Version (v): 0 B Owner/Creator, Session Id (o): 1002@192.168.1.100 0 0 IN IP4 181.236.235.190 Session Name (s): Session SIP/SDP ⊞ Media Description, name and address (m): audio 21000 RTP/AVP 8 0 97 3 106 101 Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000 @ Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000
@ Media Attribute (a): rtpmap:97 speex/8000 Media Attribute (a): rtpmap:3 G5M/8000 ⊞ Media Attribute (a): rtpmap:106 BV16/8000 Media Attribute (a): fmtp:101 0-15 ⊞ Media Description, name and address (m): video 21070 RTP/AVP 103 Media Attribute (a): rtpmap:103 h263-1998/90000 Figura 43. INVITE 3G de 1002 al Servidor Elastix. No. Time Source Destination Protocol Length Info 840 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100 840 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100 318 14.255784 181.236.235.190 192.168.1.100 SIP/SDP 361 14.936166 181.236.235.190 192.168.1.100 SIP/SDP 398 15.936015 181.236.235.190 192.168.1.100 1005 Request: INVITE sip:1001@192.168.1.100 SIP/SDP 430 16.113919 192.168.1.100 186.181.241.158 SIP/SDP 995 Request: INVITE sip:1001@127.0.0.1:5442 441 16.746455 186.181.241.158 192.168.1.100 SIP/SDP 616 Status: 180 Ringing | , with session de . with session de 443 16.795721 186.181.241.158 192.168.1.100 STP/SDP 616 Status: 180 Ringing | • 111 ⊕ Frame 400: 995 bytes on wire (7960 bits), 995 bytes captured (7960 bits) ⊞ Ethernet II, Src: Hewlett-\_5a:39:5e (00:21:5a:5a:39:5e), Dst: TendaTec\_3a:6b:f0 (c8:3a:35:3a:6b:f0) ∃ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.100 (192.168.1.100), Dst: 186.181.241.158 (186.181.241) ⊕ User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: 54425 (54425) Session Initiation Protocol (INVITE) ⊞ Message Header Message Body Session Description Protocol Session Description Protocol Version (v): 0 ⊞ Owner/Creator, Session Id (o): root 390182772 390182772 IN IP4 200.3.153.91 Session Name (s): Asterisk PBX 1.8.21.0 Bandwidth Information (b): CT:384
 Bandwidth Information (b): CT:384
 Section 2.2
 Section 2 ⊞ Media Description, name and address (m): audio 10284 RTP/AVP 0 3 8 101 Media Attribute (a): rtpmap:3 G5M/8000
 Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000 Media Attribute (a): fmtp:101 0-16
 Media Attribute (a): sendrecv ⊞ Media Description, name and address (m): video 13898 RTP/AVP 98 

Media Attribute (a): sendrecv

#### Figura 44. INVITE 3G del Servidor Elastix a 1001.



Figura 45. 200 OK 3G de 1001 al Servidor Elastix.



Figura 46. 200 OK 3G del Servidor Elastix a 1002.

Cuando la conexión se ha establecido y los paquetes de voz se están enviando correctamente desde un extremo de la comunicación al otro, el usuario 1001 conmuta y se conecta a una red WiFi.

La Figura 47 muestra el envío del mensaje REGISTER por parte del usuario 1001 al servidor, actualizando la dirección IP de contacto con la que había establecido la conexión a través de la red 3G. Al conectarse a una red WiFi, el usuario adquiere una dirección IP privada, pero dado que el otro usuario está enviando los paquetes de voz al servidor, este nunca se entera de la conmutación de red que efectúa el cliente 1001 y por lo tanto la llamada se mantiene activa.

```
Time
                                       Protocol Length Info
No.
            Source
                          Destination
4725 82.850220 192.168.1.100
                          190.252.63.228
                                               556 Status: <u>401 Unauth</u>orized
                                                                          (0 bindings)
                                       SIP
                          190.252.63.228
4736 82.876262
            192.168.1.100
                                       SIP
                                               623 Request:
                                                         OPTIONS sip:1001@186.181.241.158:
4737 82.876313 192.168.1.100
                          190.252.63.228
                                       SIP
                                               592 Status: 200 OK
                                                               (1 bindings)
4738 82.876417
            192.168.1.100
                                               712 Request: NOTIFY sip:1001@186.181.119.54:54
                          186.181.119.54
                                       SIP
4745 82.900225 190.252.63.228
                                               397 Status: 200 OK |
                         192.168.1.100
                                       STP
4776 83.045208 192.168.1.100
                          186.181.119.54
                                               712 Request: NOTTEY sin:1001@186.181.119.54:54
                                       STP
                                                                   111
B Ethernet II, Src: TendaTec_3a:6b:f0 (c8:3a:35:3a:6b:f0), Dst: Hewlett-_5a:39:5e (00:21:5a:5a:39:5e)

∃ Internet Protocol Version 4, Src: 190.252.63.228 (190.252.63.228), Dst: 192.168.1.100 (192.168.1.100)

Session Initiation Protocol (REGISTER)
  Message Header
   H Via: SIP/2.0/UDP 186.181.241.158:54425; rport; branch=z9hG4bK63517
     Max-Forwards: 70
   call-ID: 443300766932@186.181.241.158

    Contact: <sip:1001@186.181.241.158:54425;transport=udp>

     Expires: 3600
     User-Agent: Sipdroid/3.0 beta/GT-I9300
   ⊕ Authorization: Digest username="1001", realm="asterisk", nonce="1321a301", uri="sip:192.168.1.100
     Content-Length: 0
```

Figura 47. Mensaje REGISTER WiFi al conmutar de red.

El análisis gráfico del registro de la comunicación VoIP capturado en el servidor y generado por Wireshark, muestra el flujo de mensajes SIP durante el establecimiento, modificación y finalización de la llamada, comprobando el cambio de red por parte del usuario 1001 y el envío de los paquetes RTP al servidor (Figura 48).



Figura 48. Análisis gráfico conmutación de red (3G a WiFi) Elastix.

Durante la llamada se obtuvo el log de calidad de la comunicación, capturado por SIPDroid por medio de las variables porcentuales de retraso y pérdida y el estimado del tiempo que tardan los paquetes en llegar al cliente. El resultado se observa en las siguientes figuras, en las cuales se puede observar el corto tiempo de Handover que es prácticamente imperceptible por el usuario.



Figura 49. Porcentaje de Pérdida conmutación 3G - WiFi Elastix.



Figura 50. Tiempo de Retraso conmutación 3G - WiFi Elastix.

La Figura 49 muestra el porcentaje de pérdida de paquetes durante la comunicación. Allí se aprecia que este valor se mantiene en cero durante toda la llamada, con un pico que se presenta al momento de realizar la conmutación de una red a otra y en la Figura 50 se aprecia el tiempo de retraso, cuyo valor siempre es inferior a 80 milisegundos, mostrando un silencio de voz durante la conmutación.

En las dos figuras anteriores se puede notar el resultado de la conmutación de la red 3G a la red WiFi, cuya duración produce un efecto menor a los 2 segundos. La estabilidad en la llamada a través del servidor Elastix es considerablemente buena y el tiempo de retraso que se mantiene por debajo de los 80 milisegundos es el mínimo tiempo que la aplicación puede determinar, dados los efectos inherentes a la transmisión de paquetes por la red.

#### 5.2.2.Conmutación de llamada – WiFi a 3G

El proceso de conmutación de una llamada desde la red WiFi a una red 3G es igual al explicado anteriormente en la sección 5.2.1, donde se detalla el proceso de conmutación de la llamada desde una red 3G a una red WiFi.

En este caso, el dispositivo que se encuentra dentro de la LAN de una red WiFi con una dirección IP privada, conmuta a una red 3G la cual le asigna una IP pública que identifica exclusivamente a esa terminal en internet.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info				
184	7.419983	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	830	Request	: INVITE	sip:1	001@192	.168.1.100
189	7.683191	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	995	Request	: INVITE	sip:1	001@192	.168.1.100
192	7.690171	192.168.1.100	190.252.63.228	SIP/SDP	1007	Request	: INVITE	sip:1	001@186	.181.106.14
250	8.254421	190.252.63.228	192.168.1.100	SIP/SDP	608	Status:	180 Rin	ging	, with	session d
340	9.699181	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	995	Request	: INVITE	sip:1	001@192	.168.1.100
506	11.224482	190.252.63.228	192.168.1.100	SIP/SDP	660	Status:	200 OK	, wi	th sess	ion descri
508	11.224915	192.168.1.100	190.25.8.57	STP/SDP	894	Status:	200 OK	l.wi	th sess	ion descrip
<										
🗄 Fr	ame 189: 99	95 bytes on wire	(7960 bits), 99	5 bytes (	captur	ed (7960	bits)			
⊕ Et	hernet II,	Src: TendaTec_3	a:6b:f0 (c8:3a:3	5:3a:6b:1	FO), D	st: Hewl	ett5a:	39:5e	(00:21:	5a:5a:39:5
	ternet Prot	tocol Version 4,	Src: 190.25.8.57	7 (190.2	5.8.57	), Dst:	192.168.	1.100	(192.16	8.1.100)
⊕ Us	er Datagram	n Protocol, Src I	Port: 29122 (2912	22), Dst	Port:	sip (50	60)			
E Se	ssion Initi	iation Protocol	(INVITE)							
+	Request-Lir	ne: INVITE sip:10	001@192.168.1.10	0 SIP/2.0	)					
±	Message Hea	ader .								
	Message Boo	dy								
	Session [	Description Prote	looc							
	Session	n Description Pro	otocol Version (	v): 0						
	🗄 Owner/G	Creator, Session	Id (o): 1002@192	2.168.1.1	LOO 0	0 IN IP4	192.168	.1.110	)	
	Session	n Name (s): Sess	ion SIP/SDP							
	E Connect	tion Information	(c): IN IP4 192.	.168.1.1	LO					
	🗄 Time De	escription, activ	/e time (t): 0 0							
	🗄 Media 🛛	Description, name	e and address (m)	): audio	21000	RTP/AVP	8 0 97	3 106	101	
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): ri	pmap:8 PCMA/8000	0						
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): r	pmap:0 PCMU/8000	0						
	🗄 Media 🖌	Attribute (a): r	pmap:97 speex/80	000						
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): r	cpmap:3 G5M/8000							
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): ri	pmap:106 BV16/80	000						
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): ri	pmap:101 telepho	one-event	1/8000					
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): fr	ntp:101 0-15							
	🗄 Media 🛛	Description, name	e and address (m)	): video	21070	RTP/AVP	103			
	🗄 Media 🖉	Attribute (a): r	tpmap:103 h263-19	998/9000	)					

Figura 51. INVITE WiFi de 1002 al Servidor Elastix.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info					
184	7.419983	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDF	830	Request:	INVITE	sip:1	001@192	.168.1	100
189	7.683191	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDF	995	Request:	INVITE	sip:1	001@192	.168.1	100
192	7.690171	192.168.1.100	190.252.63.228	SIP/SDF	1007	Request:	INVITE	sip:1	001@186	.181.1	.06.14
250	8.254421	190.252.63.228	192.168.1.100	SIP/SDF	608	Status:	180 Rin	ging	, with	sessi	ion de
340	9.699181	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDF	995	Request:	INVITE	sip:1	001@192	.168.1	100
506	11.224482	190.252.63.228	192.168.1.100	SIP/SDF	660	Status:	200 OK	, wi	th sess	ion de	escrip
508	11.224915	192.168.1.100	190.25.8.57	STP/SDF	894	Status:	200 OK	I.wi	th sess	ion de	escrin
•									11		_
🗄 Fr	ame 192: 10	007 bytes on wir	e (8056 bits), 10	007 byte	s capt	ured (805	6 bits)				
🗄 Et	hernet II,	Src: Hewlett5	a:39:5e (00:21:5a	a:5a:39:	5e), D	st: Tenda	Tec_3a:	6b:f0	(c8:3a:	35:3a:	:6b:fC
🗉 In	ternet Prot	tocol Version 4,	Src: 192.168.1.1	100 (192	.168.1	.100), Ds	t: 190.	252.63	.228 (1	90.252	2.63.2
+ Us	er Datagram	n Protocol, Src I	Port: sip (5060)	, Dst Po	rt: 54	425 (5442	.5)				
🗆 Se	ssion Initi	iation Protocol	(INVITE)								
+	Request-Lir	ne: INVITE sip:10	001@186.181.106.1	141:5442	5;tran	sport=udp	) SIP/2.	0			
+	Message Hea	ader									
	Message Boo	dy									
	🗉 Session 🛛	Description Prot	ocol								
	Session	n Description Pro	otocol Version (	v): 0							
	🗄 Owner/C	Creator, Session	Id (o): root 192	2708101	192708	101 IN IP	4 200.3	.153.9	1		
	Session	n Name (s): Aste	risk PBX 1.8.21.(	0	_						
	E Connect	tion Information	(c): IN IP4 200.	.3.153.9	1						
	🗄 Bandwid	dth Information	(b): CT:384								
	🗄 Time De	escription, activ	ve time (t): 0 0								
	🗄 Media 🛛	Description, name	e and address (m)	): audio	15342	RTP/AVP	0381	01			
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): r	tpmap:0 РСМU/8000	0							
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): r	tpmap:3 G5M/8000								
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): r	tpmap:8 РСМА/8000	0							
	🕀 Media 🗸	Attribute (a): r	tpmap:101 teleph	one-even	t/8000						
	🕀 Media 🗸	Attribute (a): fi	mtp:101 0-16								
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): p	time:20								
	Media A	Attribute (a): s	endrecv								
	🗄 Media 🛛	Description, name	e and address (m)	): video	11956	RTP/AVP	98				
	🗄 Media 🗸	Attribute (a): r	tpmap:98 h263-199	98/90000							
	Media /	Attribute (a): s	endrecv								

Figura 52. INVITE WiFi del Servidor Elastix a 1001.

No. Time	Source	Destination	Protocol I	ength Info		510.10018197.	100-1-100
192 7.690171	192.168.1.100	190.252.63.228	SIP/SDP	1007 Request:	INVITE	sip:1001@186.	181.106.14
250 8.254421	190.252.63.228	192.168.1.100	SIP/SDP	608 Status:	180 Rin	ging   , with	session de
340 9.699181	190.25.8.57	192.168.1.100	SIP/SDP	995 Request:	INVITE	sip:1001@192.	168.1.100
506 11.224482	190.252.63.228	192.168.1.100	SIP/SDP	660 Status:	200 OK	, with sessi	on descrip
508 11.224915	192.168.1.100	190.25.8.57	SIP/SDP	894 Status:	200 OK	, with sessi	on descrip
516 11.324402	192.168.1.100	190.25.8.57	SIP/SDP	894 Status:	200 OK	, with sessi	on descrip
<						III	
⊕ Frame 506: 6	60 bytes on wire	(5280 bits), 66	i0 bytes c	aptured (5280	bits)		
Ethernet II,	Src: TendaTec_3	a:6b:f0 (c8:3a:3	5:3a:6b:f	0), Dst: Hewle	ett5a:	39:5e (00:21:5	ja:5a:39:5€
Internet Pro	tocol Version 4,	Src: 190.252.63	.228 (190	.252.63.228),	Dst: 19	2.168.1.100 (1	92.168.1.1
🗄 User Datagra	um Protocol, Src	Port: 54425 (544	25), Dst	Port: sip (500	50)		
Session Init	iation Protocol	(200)					
Status-Lir	ne: SIP/2.0 200 0	К					
Message Re	auer						
Session	Description Prot	ocol					
Sessio	n Description Pr	otocol Version (	v): 0				
Owner	Creator, Session	Id (o): 1001@19	2.168.1.1	00 0 0 IN IP4	10.1.1.	4	
Sessio	n Name (s): Sess	ion SIP/SDP					
🗄 Connec	tion Information:	(c): IN IP4 10.	1.1.4				
⊞ Time D	escription, acti	ve time (t): 0 0	)				
🗄 Media	Description, nam	e and address (m	i): audio	21000 RTP/AVP	3 101		
⊞ Media	Attribute (a): r	tpmap:3 GSM/8000		(8000			
± Media	ALLEIDULE (a): E	cpmap:ioi cereph	ione-event	/8000			
	Figu	ıra 53. 200 OK Wi	Fi de 1001	al Servidor Ela	ıstix.		
No. Time	Source	Destination	Protocol L	ength Info			
T03 \.00013	T TAN'SY'O'AL	192.100.1.100	DIF/DUF	993 REQUEST.	INVITE 5	10.10010192.100	.1.100
100 7 60017	74 400 400 4 400	100 050 60 000	/	1007			105 14
192 7.69017	71 192.168.1.100	190.252.63.228	SIP/SDP	1007 Request: 608 Status: 1	INVITE S	ip:1001@186.181	106.14
192 7.69017 250 8.25442 340 9.69918	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57	190.252.63.228 3 192.168.1.100 192.168.1.100	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request:	INVITE s 80 Ringi INVITE s	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168	106.14 sion de 3.1.100
192 7.69017 250 8.25447 340 9.69918 506 11.2244	71         192.168.1.100           21         190.252.63.228           31         190.25.8.57           482         190.252.63.228	190.252.63.228 3 192.168.1.100 192.168.1.100 3 192.168.1.100	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2	INVITE s 80 Ringi INVITE s 00 OK	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session	.106.14 sion de 8.1.100 descrip
192 7.69017 250 8.25442 340 9.69918 506 11.2244 508 11.2249	71       192.168.1.100         21       190.252.63.228         31       190.25.8.57         482       190.252.63.228         915       192.168.1.100	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session	106.14 sion de 8.1.100 descrip descrip
192 7.69017 250 8.25442 340 9.69918 506 11.2244 508 11.2244 516 11.3244	71         192.168.1.100           21         190.252.63.228           31         190.252.63.228           32         190.252.63.228           315         192.168.1.100           402         192.168.1.100           402         192.168.1.100	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 192.25.8.57 190.25.8.57	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session	.106.14 sion de 8.1.100 descrip descrip descrip
192 7.6901 250 8.2544 340 9.69918 506 11.2244 508 11.2244 516 11.3244	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 182 190.252.63.228 315 192.168.1.100 402 192.168.1.100	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de 8.1.100 descrip descrip descrip
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.252.63.228 32 190.252.63.228 35 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 5894 bytes on wir	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 e (7152 bits), 89	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de 3.1.100 descrip descrip descrip
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 € Frame 508 € Ethernet	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 182 190.252.63.228 315 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 bytes on wir II, Src: Hewlett	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 5a:39:5e (00:21:5)	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 4 bytes ca 5a:5a:39:56	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   00 OK   its) rec_3a:6b	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de 8.1.100 descrip descrip descrip 8a:6b:f(
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 Frame 508 Ethernet Internet	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 915 192.168.1.100 402 192.168.1.100 	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. Port: sin (5060)	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 94 bytes cc 5a:5a:39:50 100 (192.1 0 DSI Port	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst - 29122 (29122	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   00 OK   its) rec_3a:6b : 190.25	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip descrip descrip descrip
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 Frame 508 Ethernet Internet User Data Session I	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 915 192.168.1.100 402 192.168.1.100 	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200)	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 04 bytes Ca 5a:5a:39:5c 100 (192.1 0, Dst Port	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   00 OK   its) its) rec_3a:6b : 190.25 )	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session 	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip descrip descrip descrip descrip
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 3015 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.100 405 192.1000 405 192.1000 405 192	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 04 bytes ca 5a:5a:39:5d 100 (192.1 0, DST Port	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   00 OK   its) rec_3a:6b : 190.25 )	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip descrip 3a:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 ★ Frame 508 ★ Ethernet ★ Internet ★ User Data ★ Session I ★ Status- ★ Message	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 315 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.100 405	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP O4 bytes ca 5a:5a:39:56 100 (192.1 0, DST Port	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK   its) ec_3a:6b : 190.25 )	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip ga:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 Frame 508 Ethernet Internet User Data Session I Status- Message Message Message	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 4915 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.100 405	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP O4 bytes ca 5a:5a:39:56 100 (192.1 0, DST Port	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   its) ec_3a:6b : 190.25 )	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip ga:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 Frame 508 Ethernet Internet User Data Session I Status- Message Message Sessi	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 190.252.63.228 195 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.00 402 192.168.1.00 403 192.168.1.00 404 192.168.1.00 405 192.100 405 192.100 4	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP O4 bytes cc 5a:5a:39:56 100 (192.1 0, DSt Port	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   its) ec_3a:6b : 190.25 )	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session , with session 	.106.14 sion de sil.100 descrip descrip descrip ga:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 Frame 508 Ethernet Internet User Data Session II Status- Message Message Sessi Sessi Sessi	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 190.252.63.228 195 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.00 402 192.168.1.00 403 192.168.1.00 404 192.168.1.00 405 192.100 405 192.100 4	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK protocol vrotocol version ( n Id (o): root 78	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP O4 bytes cc 5a:5a:39:56 100 (192.1 0, DSt Port	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 38475929 IN IP4	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK   115) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , w	.106.14 sion de sil.100 descrip descrip descrip ga:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 Frame 508 Ethernet Internet User Data Session II Status- Message Message Sessi Sessi Sessi Own	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 190.252.63.228 195 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.00 403 192.168.1.00 404 192.168.1.00 405 192.100 405 192.	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK protocol version ( on Id (o): root 78 cerisk PBX 1.8.21.	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP OU SIP/SDP OU SIP/SDP OU SIP/SDP OU SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SI	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 38475929 IN IP4	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK   115) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , sessio	.106.14 sion de sil.100 descrip descrip descrip ga:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 Frame 508 Ethernet Internet User Data Session II Status- Message Message Sessi Sessi Sessi Ethernet Comparison II Status- Sessi Sessi Sessi Sessi Comparison II Sessi Sessi Sessi Sessi Comparison II Sessi Sessi Sessi Comparison II Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Sessi Ses	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 190.252.63.228 195 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.100 405 192.1000 405 192.1000 405 192.1000	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK protocol version ( on Id (o): root 78 cerisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 94 bytes cc 5a:5a:39:56 100 (192.1 0, DSt Port (v): 0 88475929 78 0 0.3.153.91	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 88475929 IN IP4	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK   115) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1	ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , s	.106.14 sion de sil.100 descrip descrip descrip ga:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 516 11.3244 ✓ Frame 508 ⊕ Ethernet ⊕ User Data ⊕ Session II ⊕ Status-1 ⊕ Message ⊕ Message ⊕ Sessi Sessi ⊕ Own Sess ⊕ Own Sessi ⊕ Con ⊕ Ban	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.25.8.57 482 190.252.63.228 190.252.63.228 195 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.100 403 192.100 403 192.100 403 192.100 403 192.100 403 192.100 403 192.100 403	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK protocol version ( on Id (o): root 78 terisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 h (b): cT:384	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 94 bytes cc 5a:5a:39:56 100 (192.1 , DSt Port (v): 0 88475929 78 0 0.3.153.91	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 168.1.100), Dst :: 29122 (29122 38475929 IN IP4	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 0K   00 0K   00 0K   100 0K	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session "" :f0 (c8:3a:35:3 .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de sil.100 descrip descrip descrip Ba:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.3244 Frame 508 E Freme 508 E Freme 508 E Internet User Data Session I E Status- Message Message Sessi Sessi Sessi E Own E Ban E Tim Med	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 31 190.252.63.228 32 10.252.63.228 32 10.252.632.288 32 10.252.588 32 10.252.5888 32 10.252.588 32 10.	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK Protocol Version ( on Id (o): root 78 erisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 h (b): CT:384 tive time (t): 0 C me and address (m	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 04 bytes cc 5a:5a:39:56 100 (192.1 , DSt Port (v): 0 88475929 78 0 0.3.153.91	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 168.1.100), Dst :: 29122 (29122 88475929 IN IP4 5292 RTP/AVP 0	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session "" :f0 (c8:3a:35:3 .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de sil.100 descrip descrip descrip Ba:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session I Status-I Message Message Sessi Sessi Sessi Sessi Con Ethernet Message Message Sessi Sessi Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message	71 192.168.1.100 71 190.252.63.226 73 190.252.63.226 74 190.252.63.226 75 192.168.1.100 76 192.168.1.100 76 192.168.1.100 77 192.168.1.100 78 20 192.168.1.100 79 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	190.252.63.228 3 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 e (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:55 c, Src: 192.168.1. Port: sip (5060) (200) OK btocol btocol Version ( on Id (0): root 78 erisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 to (b): CT:384 ive time (t): 0 C ume and address (m rtpmap:0 PCMU/800	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 94 bytes cc 5a:5a:39:56 100 (192.1 ), DST Port (v): 0 88475929 78 0 ).3.153.91	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 168.1.100), Dst :: 29122 (29122 38475929 IN IP4 15292 RTP/AVP 0	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   00 OK   100 CK   115) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session "" :f0 (c8:3a:35:3 .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de sil.100 descrip descrip ga:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session I Status-I Message Message Sessi Sessi Sessi Sessi Con Ban Med Med Med	71 192.168.1.100 71 190.252.63.226 73 190.25.8.57 74 190.25.8.57 75 192.168.1.100 70 192.168.1.100 71 192.168.1.100 72 192.168.1.100 73 192.168.1.100 74 192.168.1.100 75 192.100 75 192.10	190.252.63.228 3 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 e (7152 bits), 85 5a:39:5e (00:21:5 c, Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK btocol vrotocol Version ( on Id (o): root 78 verisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 to (b): CT:384 ive time (t): 0 C ume and address (m rtpmap:0 PCMU/800 rtpmap:0 PCMU/800 rtpmap:3 GSM/800C	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP A4 bytes ca ia:5a:39:54 100 (192.1 0, Dst Port (v): 0 88475929 78 0 0.3.153.91 0) 1): audio 1 00	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 168.1.100), Dst :: 29122 (29122 38475929 IN IP4 15292 RTP/AVP 0	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session "" :f0 (c8:3a:35:3 .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de 8.1.100 descrip descrip descrip 3a:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session I Status-I Message Message Sessi Sessi Sessi Con Ban Tim Med Med Med	71 192.168.1.100 21 190.252.63.226 31 190.25.8.57 32 190.25.8.57 32 190.25.63.226 31 190.25.63.226 31 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.100 405 192.100	190.252.63.228 3 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 e (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 4, Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK protocol Version ( in Id (o): root 78 erisk PBX 1.8.21. in (c): IN IP4 200 to (b): CT:384 ive time (t): 0 C ume and address (m rtpmap:0 PCMU/800 rtpmap:3 GSM/8000 rtpmap:8 PCMA/800	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP A4 bytes ca a:5a:39:54 100 (192.1 0, Dst Port (v): 0 88475929 74 0 0.3.153.91 0) 1): audio 1 00	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 168.1.100), Dst :: 29122 (29122 38475929 IN IP4 15292 RTP/AVP 0 (0000	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   100 OK	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session "" :f0 (c8:3a:35:3 .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip da:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session I Status- Message Message Message Sessi Sessi Sessi Con Ban Med Med Med Med	71 192.168.1.100 21 190.252.63.226 31 190.252.63.226 32 190.252.63.226 32 190.252.63.226 32 190.252.63.226 32 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.100 405 192.100	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) 0K protocol Version ( in Id (o): root 78 erisk PBX 1.8.21. in (c): IN IP4 200 h (b): CT:384 ive time (t): 0 0 me and address (m rtpmap:0 PCMU/800 rtpmap:3 GSM/8000 rtpmap:10 1 teleph fmtau101 0 15	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 94 bytes Ca a:5a:39:5c 100 (192.1 0, Dst Port (v): 0 88475929 70 0 0.3.153.91 0) 1): audio 1 00 000000000000000000000000000000000	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 88475929 IN IP4 15292 RTP/AVP 0 /8000	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   its) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session "" :f0 (c8:3a:35:3 .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip da:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session II Status-I Message Message Sessi Sessi Con Ban Ether Med Med Med Med Med	71 192.168.1.100 21 190.252.63.226 31 190.25.8.57 32 190.25.8.57 32 190.25.63.226 31 190.25.63.226 31 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 405 192.168.1.100 405 192.168.1.100 405 192.168.1.100 406 192.168.1.100 407 192.168.1.100 407 192.168.1.100 408 192.168.1.100 408 192.168.1.100 408 192.168.1.100 408 192.168.1.100 409 192.100 409 192.100 409 192.100 409 192.100 409 192.100 400 192.100 400 192.100 400 192.100 400 192.100 4	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK Protocol Version ( on Id (o): root 78 erisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 h (b): CT:384 cive time (t): 0 C me and address (m rtpmap:0 PCMU/80C rtpmap:10 PCMU/80C rtpmap:101 teleph fmtp:101 0-16 ptime:20	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SDP 3IP/SD	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 168.1.100), Dst : 29122 (29122 38475929 IN IP4 15292 RTP/AVP 0 /8000	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 OK   00 OK   00 OK   its) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session m :f0 (c8:3a:35:3 .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip da:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet Internet User Data Session II Status Message Message Sessi Sessi Com Ban Tim Med Med Med Med Med Med Med	71 192.168.1.100 21 190.252.63.228 31 190.25.8.57 32 190.25.8.57 32 190.25.63.228 31 190.25.63.228 32 190.252.63.228 32 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 Header Body on Description Protocol Line: SIP/2.0 200 Header Body on Description Protocol Sion Description Protocol Sion Description Protocol Sion Description Protocol Sion Name (s): Astribute Si a Attribute (a): 10 Attri	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) 0K rotocol Version ( on Id (o): root 78 cerisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 to (b): CT:384 cive time (t): 0 C me and address (n rtpmap:0 PCMU/80C rtpmap:10 PCMU/80C rtpmap:101 teleph fmtp:101 0-16 ptime:20 sendrecv	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 94 bytes Ca a:5a:39:5c 100 (192.1 0, Dst Port (v): 0 8475929 78 0 0.3.153.91 0) 1): audio 1 00 0) 100 100 100 100 100 100 100 100	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 88475929 IN IP4 5292 RTP/AVP 0 /8000	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 0K   00 0K   100 0K   100 0K   115) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session , with session m :f0 (c8:3a:35:: .8.57 (190.25.8 53.91</pre>	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip da:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session II Session II Session II Session Sessi Message Message Sessi Kown Sessi Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Messag	71 192.168.1.100 21 190.252.63.226 31 190.25.8.57 32 190.252.63.226 31 190.252.63.226 32 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 402 192.168.1.100 403 192.168.1.100 404 192.168.1.100 Header Body 51 0 Perotocol, Src nitiation Protocol, Src nitiation Protocol, Src nitiation Protocol, Src nitiation Protocol, Src nitiation Protocol, Src not Description Protocol Line: SIP/2.0 200 Header Body 51 0 Description Protocol 51 0 Description Protocol 51 0 Description Protocol 51 0 Description, Act 10 Description, act 10 Attribute (a): 10 Attribute (a)	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK Protocol Version ( on Id (o): root 78 eerisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 mt (c): IN IP4 20	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 94 bytes c; a:5a:39:5c 100 (192.1 0, Dst Port (v): 0 88475929 7; 0 0.3.153.91 0) 10: audio 1 0) 10: audio 1 0) 100 100 100 100 100 100 100 100 100	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 38475929 IN IP4 15292 RTP/AVP 0 /8000 L2714 RTP/AVP 1	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 0K   00 0K   00 0K   its) ec_3a:6b : 190.25 ) 200.3.1 3 8 101	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session</pre>	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip da:6b:f( 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session II Status- Message Message Message Sessi Kown Sessi Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message	71 192.168.1.100 71 190.252.63.226 73 190.252.63.226 74 190.252.63.226 75 192.168.1.100 76 192.168.1.100 76 192.168.1.100 77 192.168.1.100 78 192.168.1.100 79 20 192.168.1.100 70 20 192.168.1.100 70 20 192.168.1.100 70 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 190.25.8.57 e (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) OK Protocol Version ( on Id (o): root 78 erisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 rtpmap:3 FXM/800 rtpmap:3 GSM/8000 rtpmap:3 GSM/8000 rtpmap:101 telepf fmtp:101 0-16 ptime:20 sendrecv me and address (m rtpmap:103 h263-1	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP 04 bytes ca ia:5a:39:5c 100 (192.1 0, Dst Port 0 0.3.153.91 0) 100 (192.1 0) 101 (192.1 0) 102 (192.1 0) 103 (192.	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 88475929 IN IP4 L5292 RTP/AVP 0 /8000 L2714 RTP/AVP 1	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 0K   00 0K   100 0K   100 0K   115) 115) 115) 100 0K   115) 100 0K   100	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session</pre>	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip da:6b:fC 3.57)
192 7.6901 250 8.2544 340 9.6991 506 11.224 508 11.224 516 11.324 Frame 508 Ethernet User Data Session II Session II Session II Session II Session Session Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Message Mes	71 192.168.1.100 71 190.252.63.226 81 190.252.63.226 81 190.25.8.57 82 190.252.63.226 915 192.168.1.100 102 192.168.1.100 102 192.168.1.100 103 192.168.1.100 104 192.168.1.100 105 192.100 105 192.100 10	190.252.63.228 192.168.1.100 192.168.1.100 192.168.1.100 190.25.8.57 190.25.8.57 190.25.8.57 re (7152 bits), 89 5a:39:5e (00:21:5 , Src: 192.168.1. : Port: sip (5060) (200) 0K rotocol Version ( on Id (0): root 78 erisk PBX 1.8.21. on (c): IN IP4 200 rtpmap: 0 PCMU/800 rtpmap: 0 FCMU/800 rtpmap: 0 SPM/8000 rtpmap: 8 PCM/800 rtpmap: 8 PCM/800 rtpmap: 8 PCM/800 rtpmap: 9 SPCM/800 rtpmap: 9 SPCM/800 rtpmap: 9 SPCM/800 rtpmap: 9 SPCM/800 rtpmap: 9 SPCM/800 rtpmap: 10 1 elepf fmtp: 101 0-16 ptime: 20 sendrecv me and address (m rtpmap: 103 h263-1 sendrecv	SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP OUT SIP/SDP OUT SIP/SDP OUT SIP/SDP OUT SIP/SDP SIP/SDP OUT SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SIP/SDP SI	1007 Request: 608 Status: 1 995 Request: 660 Status: 2 894 Status: 2 894 Status: 2 aptured (7152 b 2), Dst: TendaT 68.1.100), Dst : 29122 (29122 38475929 IN IP4 L5292 RTP/AVP 0 /8000 L2714 RTP/AVP 1	INVITE S 80 Ringi INVITE S 00 0K   00 0K   100 0K   100 0K   115) 115) 100 0K   115) 100 0K   115) 100 0K   100	<pre>ip:1001@186.181 ng   , with ses ip:1001@192.168 , with session</pre>	.106.14 sion de s.1.100 descrip descrip descrip descrip 3a:6b:fC 3.57)

Las Figuras 51 y 52 son equivalentes a las Figuras 42 y 43 mostradas en la sección anterior. Su diferencia radica en que el mensaje INVITE que envía el usuario 1002 al servidor es enviado desde una red WiFi con su IP privada, la cual es traducida al igual que en la prueba de la sección 5.2.1, a la dirección IP pública del servidor antes que el mensaje sea redirigido al usuario 1001.

De igual forma, las Figuras 53 y 54 son equivalentes a las Figuras 44 y 45, donde se muestra el mensaje 200 OK que se envía al contestar la llamada.

```
No.
    Time
             Source
                            Destination
                                           Protocol
                                                 Length Info
                                                                                 (0 bindings
5168 76.189072
             192.168.1.100
                            179.12.41.147
                                           SIP
                                                    543 Status: 401 Unauthorized
                                                                         ip:1
5205 76.457158 192.168.1.100
                            179.12.41.147
                                                    611 Request: OPTIONS
                                                                       sip:1001@127.0.0.1:544
                                           SIP
5206 76.457212 192.168.1.100
                            179.12.41.147
                                           SIP
                                                    573 Status: 200 OK
                                                                        (1 bindings)
5207
    76.457323
              192.168.1.100
                            186.181.119.54
                                           SIP
                                                    712 Request: NOTIFY sip:1001@186.181.119.54
                                                    712 Request: NOTIFY sip:1001@186.181.119.54
5265 76.626876 192.168.1.100
                            186.181.119.54
                                           SIP
5281 76.696551 179.12.41.147
                            192.168.1.100
                                                    385 Status: 200 OK |
                                           STP
B Ethernet II, Src: TendaTec_3a:6b:f0 (c8:3a:35:3a:6b:f0), Dst: Hewlett-_5a:39:5e (00:21:5a:5a:39:5e
∃ Internet Protocol Version 4, Src: 179.12.41.147 (179.12.41.147), Dst: 192.168.1.100 (192.168.1.100
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: 54425 (54425), Dst Port: sip (5060)
Session Initiation Protocol (REGISTER)
  Message Header
   I via: SIP/2.0/UDP 127.0.0.1:54425; rport; branch=z9hG4bK99086
     Max-Forwards: 70
   From: <sip:1001@192.168.1.100>;tag=z9hG4bK43127174
     call-ID: 700045358928@127.0.0.1

    Contact: <sip:1001@127.0.0.1:54425;transport=udp>

     Expires: 3600
     User-Agent: Sipdroid/3.0 beta/GT-I9300
   ⊞ Authorization: Digest username="1001", realm="asterisk", nonce="3321e359", uri="sip:192.168.1.
     Content-Length: 0
```

Figura 55. Mensaje REGISTER 3G al conmutar de red.

En la Figura 55 se muestra el mensaje REGISTER que envía el usuario 1001 al conmutar y conectarse a la red 3G. De esta forma, el servidor actualiza la información de contacto por la nueva dirección IP y continua enviando los paquetes RTP, sin que el usuario 1002 se entere de la nueva ubicación del usuario 1001 ni se afecte la comunicación.



Figura 56. Porcentaje de Pérdida conmutación WiFi – 3G Elastix.



Figura 57. Tiempo de Retraso conmutación WiFi - 3G Elastix.

La Figura 56 muestra el porcentaje de pérdida de paquetes durante la llamada y la Figura 57 el tiempo aproximado que tarda la voz en llegar al cliente. En las dos figuras se puede apreciar el momento en el cual el usuario 1001 realiza la conmutación, provocando un efecto en la transmisión de datos cuya duración se mantiene inferior a los 2 segundos.

#### 5.3. Limitaciones Red WiFi PUJ

Dado que el servidor SIP fue implementado dentro de la red interna de la Pontificia Universidad Javeriana, como se muestra en el diagrama de la Figura 5, se encontraron ciertas limitantes que impiden realizar la conmutación de una llamada de voz de forma automática, entre una red 3G y cualquier red inalámbrica dentro de la WAN de la universidad.

La dirección IP pública que fue dispuesta para la realización de este proyecto de grado, está conectada a una dirección IP privada dentro de la WAN de la universidad; por configuración de Firewall, al conectar un cliente a una red inalámbrica, no se permite la salida de conexiones desde la WAN a la IP pública suministrada y por esta razón no se puede establecer la comunicación entre el servidor y el cliente a través de internet.

Por otra parte, al conectar cualquier dispositivo móvil a una red WiFi de la PUJ, se requiere el registro del usuario en el portal cautivo que vigila el tráfico por la red desde y hacia internet, haciendo que la conmutación de la llamada no se efectué hasta que el usuario no realice el registro en el portal.

Para poder realizar la conmutación de una llamada de una red 3G a una WiFi o viceversa, es necesario contar con una red inalámbrica que no pertenezca a la WAN de la universidad.

### 6. CONCLUSIONES

En primera instancia es preciso mencionar que el desarrollo del presente trabajo de grado se llevó a cabo de forma satisfactoria y la solución al problema propuesto cumplió en su totalidad con los objetivos planteados en el proyecto.

La conmutación de una llamada de voz a través de un servidor SIP entre redes de diferentes características (Handover Vertical), como lo son las redes 3G y WiFi, se logró mediante la implementación de la central telefónica PBX que forma parte de la herramienta de comunicaciones del software Elastix. Mediante la implementación de la aplicación SIPDroid, su pudo realizar el registro de los clientes en el servidor y la inicialización, modificación y terminación de una llamada de voz.

El diseño de la estructura de red implementada permitió realizar el seguimiento de la señalización SIP para la verificación de la información contenida en el envío y recepción de mensajes por parte de los clientes y el servidor y el redireccionamiento de puertos permitió la transversalidad de NAT y el uso de una red privada para la ubicación del servidor mediante el establecimiento de la zona desmilitarizada (DMZ) en el enrutador al cual se conecta el servidor.

La comunicación entre los clientes y el servidor SIP a través de internet, represento en gran medida el principal problema a solucionar durante el desarrollo del proyecto, dadas las limitaciones que interpone el uso de NAT y la necesidad de forzar la transmisión de mensajes RTP desde y hacia el servidor por medio de la implementación de un proxy.

Mediante el reenvío del mensaje REGISTER y el enrutamiento de los paquetes RTP por parte del servidor, se logró actualizar la información de contacto del cliente que realiza la commutación, sin perder la llamada y sin afectar la comunicación con el cliente en el otro extremo de la conexión.

La conmutación de la red en el dispositivo móvil se facilitó debido a las características del sistema operativo Android, el cual se encarga de la verificación de la estabilidad y el nivel de potencia de las señales inalámbricas y decide la red de transmisión de datos, disminuyendo el procesamiento dentro de la aplicación y permitiendo que ésta se limite exclusivamente a la comunicación.

El porcentaje de Handovers realizados exitosamente fue del 100%, esto dado que en ninguno de los procesos de conmutación se perdió la comunicación; el tiempo de conmutación durante la totalidad de las pruebas realizadas se mantuvo por debajo de los 2 segundos y los tiempos de retraso, inherentes a la red, nunca superaron los 200ms, brindando una experiencia del usuario confortable durante la comunicación.

Como continuación del presente trabajo de grado se propone implementar la comunicación por medio del protocolo IPv6 en la capa de red, con el fin de eliminar limitaciones del protocolo IPv4 como la traducción de direcciones por medio de NAT, facilitando así la transmisión de los datos multimedia y realizando el envío de los paquetes RTP directamente entre los clientes. Además se propone utilizar la red móvil de cuarta generación 4G, aumentando la velocidad de conexión a internet por parte de los usuarios y reduciendo los retardos provocados por la red.

### 7. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

http://www.kamailio.org/w/ http://www.elastix.org/ http://sipdroid.com/

- [1] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; "Boletín trimestral de las TIC. Cuarto trimestre de 2012". Marzo 2013.Marzo 2013.
- [2] Network Working Group; Request for Comments: 3261. "SIP: Session Initiation Protocol". Junio 2002.
- [3] CAMARILLO, Gonzalo. SIP Demystified, p. 94-95. McGraw-Hill, 2002.
- [4] Nopal, G; Grupo de Trabajo VoIP; "Resumen del Protocolo SIP", p. 1.
- [5] JOHNSTON, Alan. SIP understanding the Session Initiation Protocol, p 17, 2. Introduction to SIP. Artech House, second edition, November 2003.
- [6] LANDÍVAR, Edgar. Comunicaciones Unificadas con Elastix, p 93, 6. Elastix Overview. Second edition, May 2011.
- [7] Asterisk Features; [Online]. Available: http://www.asterisk.org/get-started/features.
- [8] MIERLA, Daniel; "Install And Maintain Kamailio v4.0.x Version From GIT" [Online]. Available: <u>http://www.kamailio.org/wiki/install/4.0.x/git</u>.
- [9] Developer Tools. "Get AndroidSDK" [Online]. Available: http://developer.android.com/sdk/index.html.

#### FIGURAS

- (1) JOHNSTON, Alan. SIP understanding the Session Initiation Protocol. [Imagen], p. 29, Figura 1.1: The Internet Multimedia Protocol stack.
- (2) JOHNSTON, Alan. SIP understanding the Session Initiation Protocol. [Imagen], p. 31, Figura 2.3: SIP registration example.
- (3) JOHNSTON, Alan. SIP understanding the Session Initiation Protocol. [Imagen], p. 27, Figura 2.2: SIP call example with proxy server.

### 8. ANEXOS

- [1] Código fuente aplicación SIPDroid SipUA. (CD del proyecto).
- [2] Trazas Wireshark (CD del proyecto).[3] Logs de Llamadas (CD del proyecto).