



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

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN SERVIDOR  
DE VoIP BASADO EN RASPBERRY PI Y SU  
INCIDENCIA EN LA COBERTURA PARA CLIENTES  
MÓVILES EN REDES WIFI”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

**CARLOS JULIO SOTO VALLE**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2017**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría para cumplir esta meta anhelada y por bendecirme con una familia que siempre me ha dado su apoyo incondicional, sobre todo a mi esposa, mis padres y mi hermano que son mi principal motivación.

Agradezco también al Dr. Álvaro Suarez Sarmiento y al Dr. Gabriel Astudillo Brocel por presentarme esta oportunidad de seguir adelante en mis estudios de nivel superior.

**Ing. Carlos Julio Soto Valle**

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser el motivo de mi fe que nunca me abandona y siempre está ahí pendiente de mí, a mi familia, amigos y personas especiales que forman parte de mi vida y han colaborado en mi formación y en especial a mi mami porque yo soy el producto de su fuerza y tenacidad.

**Ing. Carlos Julio Sooto Valle**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



.....  
**Ph.D. César Martín M.**  
**SUBDECANO DE LA FIEC**



.....  
**Ph.D. Álvaro Suárez S.**  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**



.....  
**Ph.D. Gabriel Astudillo B.**  
**MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad y autoría del contenido de esta Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



Ing. Carlos Julio Soto Valle

## RESUMEN

La sociedad contemporánea avanza vertiginosamente gracias a las bondades que Internet ofrece de entre las cuales se destacan la agilidad y adaptabilidad de las telecomunicaciones que contribuyen al desarrollo tecnológico-científico del país; hoy en día el Ecuador está pasando un proceso de actualización, renovación e innovación en los gestores telefónicos bajo el direccionamiento de mejorar sus capacidades, disminuir costos e incursionar en el uso de nuevos equipos o medios que permitan potenciar los sistemas telefónicos vigentes; es por ende que se enfoca en la utilización de Raspberry Pi como servidor de *Voz sobre el Protocolo de Internet (VoIP)* configurado con software libre (Linux: Asterisk y Elastix) para describir su comportamiento al ser implementado bajo condiciones controladas según los estándares actuales; además servirá para solucionar los problemas en la red *Wireless Fidelity (WiFi)* de la facultad de Ingeniería Electricidad y Computación de la Escuela Superior Politécnica del litoral. La innovación consiste en estructurar una guía técnica del comportamiento real de un servidor de Voz sobre el Protocolo de Internet basado en equipo y sistema operativo de licencia libre lo que pretende minimizar costos e incrementar la eficiencia de las centrales gestadas en dicho sistema; se contribuye al crecimiento de la Ciencia en el campo de las telecomunicaciones gracias a que este proyecto es la base para futuros estudios donde se requiera un análisis comparativo entre el desempeño de diferentes servidores según la tecnología que utilicen, desde el punto de vista Social se plantea una solución económica, versátil e integra a los problemas presentes en los Call Center de empresas que manejen gran cantidad de datos al establecer llamadas o gestar recursos multimedia; en lo que concierne al medio académico esta investigación dotará de una herramienta didáctica para que los estudiantes de postgrado en telecomunicaciones comprendan el funcionamiento de un servidor Voz sobre el Protocolo de Internet, así como las potencialidades que brinda el uso de softwares-firmware libres frente a los pagados.

En la redacción de los primeros cuatro capítulos se exponen todos los criterios conceptuales necesarios para aclarar la problemática desde la perspectiva del autor; y como parte fundamental del documento se expresan al final los resultados que evidencian el cumplimiento de los objetivos

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
CAPÍTULO 1 .....	1
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Descripción del problema .....	1
1.3 Justificación.....	1
1.4 Antecedentes .....	2
1.4.1 Historia y evolución del equipo.....	4
1.4.2 Uso del código abierto.....	4
1.4.3 Limitaciones del Raspberry Pi .....	6
1.5 Descripción del proyecto .....	9
1.5.1 Objetivo general .....	9
1.5.2 Objetivos específicos .....	9
1.6 Alcance .....	9

1.7 Limitaciones .....	10
1.8 Metodología .....	11
1.9 Perfil de tesis.....	12
CAPÍTULO 2 .....	15
2. VOZ SOBRE PROTOCOLO DE INTERNET .....	15
2.1 Definición de VoIP.....	15
2.2 Funcionamiento de una red VoIP .....	16
2.3 Razones para usar VoIP .....	18
2.4 Ventajas de la VoIP .....	18
2.5 Desventajas de la VoIP .....	20
2.6 Protocolos para transmitir Voz sobre IP .....	22
2.6.1 Protocolo H.323 .....	22
2.6.2 El estándar SIP .....	24
2.7 Procedimiento de comunicación de VoIP .....	26
CAPÍTULO 3 .....	28
3. CENTRALES TELEFÓNICAS CON ASTERISK .....	28
3.1 Definición de central IP.....	28
3.2 Ventajas de la Central IP .....	29
3.3 Concepto de Asterisk .....	30
3.4. Generalidades sobre Asterisk.....	31
3.5 Asterisk y su entorno .....	34
3.5.1 Versiones de Asterisk.....	34
3.5.2 Mejoras en Asterisk.....	37

3.6 Requisitos del sistema.....	41
3.7 Funcionalidades de Asterisk.....	43
CAPÍTULO 4 .....	50
4. COMUNICACIONES UNIFICADAS CON ELASTIX.....	50
4.1 Conceptualización de Elastix.....	50
4.2 Características y funciones de Elastix .....	51
4.3 Licenciamiento en Elastix .....	55
4.4 Linux para administradores de Elastix .....	57
4.5 Interconexiones con Elastix .....	67
4.6 Calidad de Voz .....	76
4.7 Protocolos de VoIP.....	83
CAPÍTULO 5 .....	87
5. IMPLEMENTACIÓN DEL SERVIDOR DE VoIP EN RAPSBERRY PI..	87
5.1 Instalación del servidor de VoIP .....	87
5.2 Configuración del servidor de VoIP .....	92
5.3. Pruebas de funcionamiento del servidor de VoIP .....	113
CAPÍTULO 6 .....	117
6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SERVIDOR DE VoIP...	117
6.1 Estudio del comportamiento del servidor de VoIP .....	117
6.1.1 AsteriskNow .....	118
6.1.2 Elastix basado en Fedora.....	120
6.1.3 Elastix basado en CentOS uelastix .....	121
6.1.4 Elastix basado en Debian.....	123

6.1.5 FreePBX .....	125
6.1.6 Issabel.....	127
6.2 Estado de las comunicaciones inter usuarios .....	130
6.3 Análisis y monitoreo de tráfico del servidor de VoIP .....	138
6.4 Estado de la red WiFi .....	144
6.5 Cobertura de los servicios de VoIP en la red WiFi.....	157
6.6 Factores que inciden en la cobertura para clientes móviles en la red WiFi.....	161
CAPÍTULO 7 .....	165
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	165
7.1 Análisis descriptivo de la investigación.....	165
7.1.1 El dispositivo .....	165
7.1.2 La cobertura.....	167
7.1.3 Clientes móviles .....	170
7.2 Interpretación de los resultados.....	173
7.3 Presentación de los resultados.....	174
7.3.1 Asterisknow.....	182
7.3.2 Fedora.....	184
7.3.3 CentOS .....	185
7.3.4 Debian.....	186
7.4 Ventajas y desventajas.....	188
7.4.1 Raspberry Pi con Asterisknow.....	188
7.4.2 Raspberry Pi con Fedora .....	189

7.4.3 Raspberry Pi con CentOS .....	189
7.4.4 Raspberry Pi con Debian .....	191
7.4.5 Raspberry Pi con FreePBX .....	192
7.4.6 Raspberry Pi con Issabel .....	193
7.5 Comportamiento de la red WiFi antes y después de la implementación del aporte práctico .....	195
7.5.1 Red WiFi / antes.....	195
7.5.2 Red WiFi / después .....	197
7.5.3 Cobertura .....	198
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	200
BIBLIOGRAFÍA .....	202
ANEXOS .....	204

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Flujo en un circuito de voz, técnicas de compresión. ....	16
Figura 2. 2 Flujo en un circuito de voz comprimido utilizando encaminador .	16
Figura 2. 3 Flujo en un circuito de voz con técnicas de compresión utilizando PBX y encaminador .....	17
Figura 2. 4 Pila de protocolos VoIP/H.323 según modelo OSI. ....	24
Figura 2. 5 Señalización básica de SIP.....	25
Figura 3. 1 Conceptualización del nivel de Entidad de Negocios.....	37
Figura 3. 2 Conceptualización de las comunicaciones a través de Asterisk....	43
Figura 4. 1 Soluciones Asterisk de Centralita IP.....	55
Figura 4. 2 Visualización de permisos con el orden ls -la, representación numérica.....	65
Figura 4. 3 Uso del orden chmod y Recursividad.....	66
Figura 4. 4 Escenario de una PBX IP Elastix conectada a enlace primario de tipo E1. ....	69
Figura 4. 5 Esquema de una interconexión de centrales IPBX con una Central Propietaria. ....	73
Figura 4. 6 Integración de IPBX y una PBX Legacy/Híbrida.....	74
Figura 4. 7 Caso (a) Interconexión Elastix uso de red telefónica y red de datos e Internet. ....	75
Figura 4. 8 Caso (b) Interconexión Elastix uso de red telefónica y red de datos e Internet. ....	75
Figura 4. 9 Esquema de Clasificación de Trafico de Red.....	79
Figura 4. 10 Esquema del ancho de banda VoIP.....	80

Figura 5. 1 Repositorio de Descarga de Elastix, versionamiento para Raspberry Pi uelastix.....	89
Figura 5. 2 Descarga del archivo elastix-arm-2014-01-30.tar.gz a través de la consola.....	90
Figura 5. 3 Proceso de Descompresión y visualización de los BOOT.tar.gz y rootfs.tar.gz requeridos en la instalación del servidor. ....	90
Figura 5. 4 Procedimiento para definirse como súper usuario. ....	91
Figura 5. 5 Interfaz de la herramienta PUTTY para conexiones remotas SSH. ....	95
Figura 5. 6 Inicio del sistema en plataforma CentOS. ....	95
Figura 5. 7 Entorno de uso del Servidor VoIP.....	95
Figura 5. 8 Inicio de sesión del administrador principal del sistema. ....	96
Figura 5. 9 Interfaz de ingreso a Elastix por medio de la dirección IP 192.168.168.10.....	96
Figura 5. 10 Tablero de Instrumentos del Servidor de VoIP.....	97
Figura 5. 11 Creación del dominio virtual de correo espol.edu.ec, para efecto de prueba de buzones entre usuarios del servidor de VoIP.....	98
Figura 5. 12 Interfaz Web del Servidor de VoIP, opción PBX, creación de Extensión SIP/IAX2. ....	99
Figura 5. 13 Configuración de la troncal SIP.....	101
Figura 5. 14 Configuración de los detalles técnicos necesarios en la comunicación de red.....	102
Figura 5. 15 Configuración de parámetros necesarios para una troncal para la PSTN.....	103

Figura 5. 16 Parámetros de configuración para una troncal de tipo SIP.....	103
Figura 5. 17 Parámetros de configuración para una troncal de tipo IAX.....	104
Figura 5. 18 Despliegue de la opción para la creación de rutas entrantes o salientes. ....	105
Figura 5. 19 Proceso de creación de una ruta entrante (Entrante-PSTN)..	105
Figura 5. 20 Opción para agregar rutas salientes en el servidor VoIP. ....	106
Figura 5. 21 Configuración de una ruta saliente de tipo SIP. ....	107
Figura 5. 22 Configuración de una ruta saliente de tipo IAX. ....	108
Figura 5. 23 Configuración de una ruta saliente de tipo PSTN.....	109
Figura 5. 24 Configuración de un IVR (IVR-Operadora).....	109
Figura 5. 25 Interfaz web de FreePBX. ....	110
Figura 5. 26 Interfaz de FreePBX. ....	111
Figura 5. 27 Guardado de configuraciones en la Interfaz.....	112
Figura 5. 28 Prueba de ping hacia el servidor para constar su estado activo y excelente tiempo de respuesta. ....	113
Figura 5. 29 Interfaz gráfica de la herramienta inSSIDer. ....	114
Figura 5. 30 Comprobación de los dispositivos dentro de la red WiFi. ....	114
Figura 5. 31 Verificación de comunicación entre usuarios. ....	115
Figura 5. 32 Escaneo y monitorización en tiempo real de la interfaz de red del servidor de VoIP, saturación de canal de comunicación. ....	116
Figura 6. 1 Comunicaciones Inter Usuarios a través del Protocolo SIP.....	130
Figura 6. 2 Interfaz del Monitor SIP basado en la herramienta SNGREP para la visualización del estado del estado de las comunicaciones inter usuarios. ....	131

Figura 6. 3 Conexión LAN que va por cable UTP (Cable de Par Trenzado) desde el Switch hacia el encaminador, Captura de la trama que se genera a nivel 2 y la recibe el encaminador para ser resuelta a nivel 3. ....	134
Figura 6. 4 Captura del comportamiento de un proceso de inicio de sesión entre dos usuarios de la red. ....	135
Figura 6. 5 Captura de las incidencias suscitadas en la previa y establecimiento de un enlace punto a punto entre dos usuarios de la red.....	135
Figura 6. 6 Niveles de consumo de los recursos del servidor VoIP.....	139
Figura 6. 7 Máximo de recursos utilizados en el servidor de VoIP basado en .....	140
Figura 6. 8 Monitoreo realizado con la herramienta IFTOP con una carga equivalente a 7 usuarios conectados al servidor y haciendo uso del sistema telefónico. ....	140
Figura 6. 9 Captura de tráfico por puertos utilizados y monitoreo del ancho de banda de acuerdo a los requisitos de los usuarios.....	141
Figura 6. 10 Análisis y monitoreo del tráfico del servidor de VoIP.....	142
Figura 6. 11 Análisis y monitoreo del Trafico SIP directamente en el encaminador sobre la interfaz del servidor de VoIP, medición del tráfico soportado. ....	144
Figura 6. 12 Medición del tráfico soportado en base a la cantidad de conexiones de los usuarios de la red WiFi establecidas con éxitos por el servidor de VoIP. ....	144
Figura 6. 13 Esquema del área propuesta para realizar pruebas del estado de la red WiFi en entornos hostiles (múltiples obstáculos, movilidad de los usuarios, población definida con mayor carga laboral). ....	145
Figura 6. 14 Mapa de Calor del estado de la red WiFi. ....	146

Figura 6. 15 Simulación y representación gráfica del estado de la red WiFi a través de Matlab. ....	148
Figura 6. 16 Fase, amplitud y la frecuencia de la señal a través de la propagación del sonido, en una llamada realizada desde un cliente móvil a través del servidor de VoIP por medio de la red WiFi. ....	149
Figura 6. 17 Estado de la red en base a la generación de onda y espectro de cobertura. ....	150
Figura 6. 18 Esquema grafico del predio universito correspondiente a la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. ....	151
Figura 6. 19 Muestra la gráfica del estado de la red WiFi en los predios de la FIEC. ....	153
Figura 6. 20 Estado de la red WiFi en el interior del edificio principal FIEC.	154
Figura 6. 21 Estado de la red WiFi en los exteriores del edificio principal FIEC. ....	154
Figura 6. 22 Atenuación de la voz durante el proceso de transmisión a través de la red WiFi con problemas de solapamiento de canales de comunicación. ....	155
Figura 6. 23 Estado de la red WiFi en base a los niveles de saturación. ...	156
Figura 6. 24 Estado de la red WiFi en base a los niveles de, solapamiento en los canales de comunicación con otras redes existentes. ....	156
Figura 6. 25 Estado de la red WiFi en base a los niveles de, solapamiento con otras redes existentes.....	157
Figura 6. 26 Representación gráfica la cobertura de los servicios de VoIP en la red WiFi en ambientes hostiles con mayor carga de trabajo a través de un mapa de calor realizado en la herramienta NetSpot. ....	158

Figura 6. 27 Despliegue de los servicios de VoIP en el entorno de la FIEC. .....	159
Figura 6. 28 Esquematación gráfica de los servicios VoIP mediante mapa de calor.....	159
Figura 6. 29 Incidencia de los servicios VoIP en la red WiFi mediante mapa de calor.....	160
Figura 6. 30 Cálculo del nivel de la señal.....	163
Figura 7. 1 El dispositivo Raspberry Pi modelo 3.....	166
Figura 7. 2 Esquema de la velocidad máxima teórica en función del mejoramiento de las versiones de los estándares basados en 802.11.....	168
Figura 7. 3 Muestra la gráfica de los procesos ejecutados en el servidor de VoIP.....	171
Figura 7. 4 Muestra la gráfica de los procesos ejecutados en el servidor de VoIP.....	172
Figura 7. 5 Conexión remota en la que se solicitan las credenciales de autenticación. ....	175
Figura 7. 6 Conexión remota al servidor de VoIP.....	176
Figura 7. 7 Estado de la red una vez establecida la conexión.....	177
Figura 7. 8 Verificación de las conexiones entre los usuarios. ....	177
Figura 7. 9 Verificación en el estado de las conexiones.....	178
Figura 7. 10 Verificación del cese de funciones y apagado del sistema.....	178
Figura 7. 11 Estado del ancho de banda de la red.....	179
Figura 7. 12 Visualización de los parámetros del ancho de banda.....	179
Figura 7. 13 Verificación de la ejecución del sistema en Raspberry Pi.....	180

Figura 7. 14 Estado de la ejecución de los procedimientos internos del servidor. .....	180
Figura 7. 15 Estado de los puertos usados en el servidor.....	181
Figura 7. 16 Cierre de sesión del usuario principal. ....	182
Figura 7. 17 Esquema del ancho de banda según los equipos que se conectan a la red WiFi .....	196
Figura 7. 18 Efectos de la obstaculización de la señal debido a la topografía de la ESPOL.....	196
Figura 7. 19 Encaminador central para gestionar las conexiones evitando accesos externos a la red .....	197
Figura 7. 20 Diagrama de accesibilidad inalámbrica que otorga la red WIFI implementada. ....	199

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de los directorios para administrar Linux. ....	60
Tabla 2 Funciones de las principales órdenes de Linux.....	61
Tabla 3 Funcionalidades de las sentencias del orden YUM. ....	62
Tabla 4 Tareas ejecutables en Linux a través de órdenes en archivos RPM. .....	63
Tabla 5 Tipos de permiso según la distribución del usuario. ....	64
Tabla 6 Notación compuesta del despliegue de permisos. ....	64
Tabla 7 Funciones de los dígitos en base a la connotación de permisos al usuario.....	65
Tabla 8 Esquemmatización de los permisos en función del nivel de acceso....	66
Tabla 9 Ejemplo de cambio en los niveles de acceso a un usuario en particular. .....	67
Tabla 10 Secuencia necesaria para efectuar un cambio de dueño en un archivo especifico.....	67
Tabla 11 Principales Códex empleados en la transmisión de base en llamadas concurrentes.....	81
Tabla 12 Cálculo para determinar el ancho de banda requerido para 10 llamadas concurrentes.....	82
Tabla 13 Velocidades de transferencia de datos en función de los CODEC estandarizados. ....	83
Tabla 14 Esquemmatización de la convergencia de protocolos VoIP en niveles OSI. ....	86
Tabla 15 Equipos y dispositivos necesarios para implementar el servidor de VoIP.....	88
Tabla 16 Traslado de información Boot y Rootfs.....	92
Tabla 17 Proceso de extracción de la memoria SD. ....	92
Tabla 18 Proceso de configuración del servidores VoIP. ....	93

Tabla 19 Proceso de configuración del servicios VoIP. ....	94
Tabla 20 Proceso para la creación de una extensión IP. ....	100
Tabla 21 Desarrollo de las comunicaciones inter usuarios en el servidor implementado .....	132
Tabla 22 Descripción de los mensajes desde y hacia el servidor en función del Estatus. ....	136
Tabla 23 Descripción de los mensajes desde y hacia el servidor en función del Estatus. ....	137
Tabla 24 Alcance de los servicios otorgados por el encaminador.....	147
Tabla 25 Simbología y descripción de la implementación de la red WIFI....	152
Tabla 26 Velocidad máxima teórica para estándares de cobertura en redes WiFi. ....	167
Tabla 27 Nombres de las redes inalámbricas de la FIEC. ....	169
Tabla 28 Despliegue del menú de opciones del administrador del servidor. ....	176

# CAPÍTULO 1

## 1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En esta sección se establece las razones por la cual se efectúa la investigación, se destaca las premisas previas que sirven de sustento para fundamentar la ejecución del presente proyecto desde el punto de vista técnico, social y académico.

### 1.1 Planteamiento del problema

La sociedad contemporánea se basa en Internet que se usa de diversas maneras y mayormente definida como una potente herramienta que concatena múltiples bondades y disciplinas para dar acceso a un Mundo de información; para su uso es necesario disponer de una serie de dispositivos y accesorios siendo los Servidores (Raspberry Pi) un equipo indispensable y de suma importancia puesto que gestiona la conexión red-usuario; pese a ello poco se sabe sobre su funcionamiento interno, tampoco existe documento que describa su comportamiento o explique qué procesos realiza para solventar los problemas que confronta su operatividad; el aporte práctico de la presente investigación pretende solucionar este problema mediante la redacción de un documento que demuestre el funcionamiento interno de un servidor basado en un Raspberry Pi configurado con software de acceso libre, explica mediante ensayos técnicos cómo reacciona el dispositivo a los estímulos externos o la incidencia de sus configuraciones en sus procesos internos; esto sirve de pauta a nivel académico-técnico a la formación de profesionales que comprendan de manera más completa el desempeño de los dispositivos nombrados, además de impulsar las investigaciones en equipos de acceso libre.

### 1.2 Descripción del problema

En el medio profesional es imperioso dominar tanto conocimiento teóricos como prácticos en especial cuando se trata de equipos que inciden en el desarrollo cultural, académico y científico de la Sociedad; particularmente en el Ecuador se ha establecido mediante el decreto 1014 el 10 de Abril del 2008 que se debe actualizar la arquitectura del servicio de Telecomunicaciones a equipos-software

de categoría libre abriendo camino a las investigaciones en plataformas como el Raspberry Pi; se destaca que a nivel nacional no se cuenta con información suficiente que explique los lineamientos técnicos que detallan su comportamiento interno.

El problema que origina la investigación es:

La falta de documentación técnica que describa el comportamiento de un servidor basado en Raspberry Pi configurado en código abierto cuando se emplea como servidor de *Voz sobre Internet Protocol (VoIP)* para una red *WiFi*.

Las principales bondades que presta el servidor basado en Raspberry son:

- Es de plataforma libre.
- Completamente compatible con las distribuciones de Linux.
- Menor costo en la operación y mantenimiento de la red.
- Sus dimensiones permiten que el equipo se adapte a cualquier entorno.

Las ventajas de tratar con códigos de uso libre son las siguientes:

- El desarrollo de soluciones informática totalmente parametrizables a las necesidades de una comunidad en específico.
- Despliegue del conocimiento a través de licencias de libre distribución que optimizan los recursos informáticos de las Pymes.
- Promueve la colaboración entre usuarios y comunidades con el objetivo de estudiar, modificar y mejorar el código existente para resolver temas inherentes a la seguridad e integridad de los datos.
- No existe ningún tipo de discriminación de personas o grupos en el acceso a la información.
- Actualmente en el Ecuador no se cuenta con un proveedor especializado en servidores basados en equipos de licencia libre ni con las pautas técnicas necesarias para su uso a nivel micro o macro.

### **1.3 Justificación**

El Ecuador es un país que se encuentra en el auge de su desarrollo científico participando activamente en la producción de conocimiento sin importar el área en que se profundice, por eso se hace notoria la necesidad de migrar a equipos

más sofisticados y actualizar infraestructura informática debido al impacto de Internet en el desarrollo académico-técnico de la sociedad ecuatoriana.

Gracias a las directrices del régimen actual a partir del 10 de Abril del 2008 se emitió el decreto 1014, el Gobierno Ecuatoriano canalizó a las instituciones educativas y públicas recursos extraordinarios para la modernización de su infraestructura, principalmente en sistemas de cómputo, centros documentales, laboratorios-talleres; también se persigue el establecimiento de una política pública para las entidades administrativas que utilicen equipos-sofwarens informáticos de categoría libre; con la finalidad de permitir un acceso heterogéneo a Internet que derive la gestión sin restricción de la información a nivel público y privado.

En la mayoría de instituciones no se cuenta con un estándar legal que fomente la mejora de sus aplicaciones ni que se investigue en nuevas configuraciones de los equipos debido a que el propietario impide variar las características técnicas de su producto; en lo referente al marco legal internacional el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior y La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación en sus líneas estratégicas de desarrollo propuestas en La Educación Superior en el Siglo XXI trata de recuperar el espíritu planteado por la *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)* en París 1998 y reconoce que, en un contexto global, las sociedades en el siglo XXI se caracterizará por ser sociedades del conocimiento, con el componente tecnológico fuertemente favorecido por el potencial que presenta para hacerle frente al cambio de paradigmas inaplazable, es decir, pasar del paradigma centrado en la enseñanza, al centrado en el aprendizaje. [1]

La evolución pedagógica en la formación educativa ha llevado a desarrollar diversas herramientas informáticas con gran versatilidad y agilidad denotando la necesidad de que su uso sea libre sin restricciones legales o trabas que impiden cursar al Ecuador en este campo que ofrece notorias mejoras y estrategias para afrontar los retos presentes y apremiantes en la resolución de sus problemas sociales.

Los recursos que ofrecen las nuevas tecnologías de la información y el uso del código abierto en el proceso educativo de nivel superior han hecho imposible prescindir de sus cualidades especialmente en la gestión de recursos online por ende este proyecto propone la implementación un servidor de VoIP basado en un Raspberry Pi programado con código abierto para explicar su comportamiento frente a las funciones que requiere su desempeño normal como el administrador de los recursos en una red WiFi.

El objetivo general es solventar la problemática esclareciendo la conducta interna de los Raspberry Pi al operar como servidores; también contribuye a mejorar las capacitaciones técnicas afines a la actualización de equipo-software informático al migrar de licencia pagada a libre acceso.

#### **1.4 Antecedentes**

Competen la información que antecede al desarrollo del proyecto como la historia, cronología, evolución, uso y limitantes que definen el campo de acción de la investigación expuesta por medio de este documento.

##### **1.4.1 Historia y evolución del equipo**

El Raspberry Pi es un computador de tamaño reducida que surge debido a la necesidad de enseñar informática a los niños en edad escolar en el Reino Unido; fue producto de una investigación interdisciplinaria figurada por Eben Christopher Upton (Desarrollador de hardware-software para Broadcom) quién gracia a sus conocimientos en arquitectura de equipos informáticos y cualidades en el manejo de software dio las pautas esenciales para el desarrollo del producto, esta investigación inicia en el año 2006 y culmina en el 2009 donde se establece la Fundación Raspberry Pi ubicada en Caldecote, South Cambridgeshire como una Asociación caritativa regulada por Inglaterra y Gales.

En sus inicios la fundación no persigue fines de lucro sino extender sus ideales en el avance informático en base de las bondades del producto, luego debido a factores socioeconómicos y el reconocimiento del potencial del producto fue necesario en el 2011 hacer un pre lanzamiento, en el 2012

se inicia la comercialización de un equipo con características básicas el mismo que ofrece un diseño versátil e innovador de fácil movilidad y manipulación.

La empresa rápidamente se asocia con entidades del área tecnológica para impulsar la producción del mini computador e incluso realizó demostraciones como reproducir video en *High Definition (HD)* o correr *Quake3* en 1080p (*FULL HD Mayor calidad en definición de imagen concebida hasta el momento*), en su pre lanzamiento, la comercialización se consideró exitosa puesto que tuvo buena acogida en las tiendas de tecnología además de alcanzar una posición favorable en el mercado, para su distribución se apoyó de alianzas estratégicas con empresas reconocidas como SONY, Broadcom que designaron su ensamble en Taiwán y China concluyendo con el primer lote vendido de Raspberry Pi.

Las características principales del modelo comercial son:

- Una placa base en la cual convergen un Chipset Broadcom modelo BCM2835.
- Un *procesador central (CPU)* modelo ARM1176JZF-S a 700 MHz teniendo una particularidad que el firmware permite hacer un upgrade de hasta 1 GHz.
- Un *procesador gráfico (GPU)* Video Core IV, un módulo de 512 MB de memoria RAM aunque originalmente en el lanzamiento del producto se lo hizo con un módulo de 256 MB.
- Un conector de RJ45 conectado a un integrado *Local Area Network (LAN)* 9512-jzx de SMSC que proporciona conectividad a 10/100 Mbps.
- Dos buses USB 2.0.
- Una salida analógica de audio estéreo por Jack de 3.5 mm, una salida digital de video + audio *High Definition Multimedia Interface (HDMI)*, salida analógica de video *Radio Corporation of America (RCA)*, pines de entrada y salida de propósito general.
- Conector de alimentación micro *Universal Serial Bus (USB)*.

- Un lector de tarjetas *Secure Digital (SD)* el cual reemplaza a la unidad de disco duro.

En la actualidad no se indica expresamente si el equipo es hardware libre o con derechos de marca, no obstante, los creadores de Raspberry Pi explican que disponen de contratos de distribución y venta con dos empresas, siendo Premier Farnell una de las compañías que está detrás de Raspberry Pi, convirtiéndose a su vez en accionista mayoritario del Proyecto y por ende de la marca, recientemente en el año 2016 la firma fue vendida a Dätwyler por una cifra que supera los mil millones de dólares.

La nueva propietaria de marca es una compañía de electrónica residida en Suiza que ha manifestado su intención de adquirir los derechos totales sobre la creación del minicomputador y desplegar sus operaciones en todo el Reino Unido.

La principal fortaleza del producto radica en que no restringe su uso, modificación, programación o despliegue de sus características; gracias a dichas virtudes hoy en día forma parte de varios proyectos multipropósitos que han sido pensados para solucionar necesidades sociales investigadas con fines altruistas.

#### **1.4.2 Uso del código abierto**

El Open Source es la licencia destinada al Raspberry Pi dotándolo en sus inicios de un sistema operativo adaptado de Debian denominado RaspBian; aunque permite el uso de otras plataformas como Windows o Linux.

En tanto al almacenamiento no cuenta con disco duro ni unidad de estado sólido, para dicha causa consta de una tarjeta SD para guardar información de manera permanente, tampoco incluye fuente de alimentación o carcasa.

Para impulsar la versatilidad del producto se da soporte para las descargas de varios lenguajes de programación tales como Linux ARM, *Reduced Instruction Set Computer (RISC) Operating System(OS)*, derivado de Fedora (Pidora), Python, Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code (BASIC), C, Perl y Ruby todos ellos cuentan con una potencial asombroso

para desarrollar aplicaciones que brinden soluciones a problemáticas comunes o específicas; además mantienen la premisa de ser de uso común-libre acceso que otorga una adaptabilidad superior frente a lenguajes de licencia privada.

Las características particulares del software open source se resumen en los siguientes requisitos:

- Debe permitirse la libre redistribución del software.
- El código fuente debe estar disponible.
- Debe permitirse la modificación del software y la creación de programas derivados.
- Debe garantizarse la integridad del programa original. Esto puede hacerse exigiendo que la distribución de cualquier modificación se haga de forma separada, o que cualquier modificación o programa derivado sea distribuido con un nombre o versión diferente.
- No se debe discriminar a ninguna persona o grupo de personas.
- Debe permitirse el uso del software para cualquier fin.
- La licencia debe ser distribuida junto con el software.
- La licencia debe aplicarse por igual a todos los que utilizan el programa.
- La licencia deberá ser siempre la misma, sin importar si el software es incluido dentro de una distribución o paquete específico.
- La licencia no debe aplicar restricciones sobre otros programas.
- La licencia debe ser tecnológicamente neutral.

Utilizar software de código abierto trae múltiples ventajas para sus usuarios sin importar que sean personas o empresas; dichos beneficios son:

- La disponibilidad del código fuente hace posible que usuarios, programadores y empresas se involucren en el desarrollo de las aplicaciones, de esta forma, el proceso de detección y corrección de errores se lleva a cabo de forma eficiente, así como la implementación de nuevas características.

- Es posible llevar a cabo modificaciones a los programas con el fin de adaptarlos a las necesidades específicas de una empresa.
- Con el software de código abierto no existe un costo económico en la compra de licencias, sino una inversión en la capacitación del personal.
- Al utilizar programas de código abierto no se depende de una empresa específica para las tareas de mantenimiento, sino que puede contratarse a cualquiera que tenga la habilidad y el conocimiento necesario.

#### 1.4.3 Limitaciones del Raspberry Pi

Presenta limitaciones que se pueden apreciar a simple vista; sus dimensiones son reducidas al punto que no permite agregar mayor cantidad de componentes para un mejor rendimiento, su potencia es cercana a la de un dispositivo móvil debido a los elementos que posee no le permiten alcanzar una presentación destacada que caracteriza a un computador de última generación.

Para tener una idea de sus capacidades, la Fundación Raspberry Pi indica que el rendimiento general del Pi es comparable con un computador que posee un procesador Intel Pentium 2 con un reloj de 300MHz, que se podría haber comprado a mediados o finales de los noventa, excepto que el Raspberry Pi tiene gráficos mejorados.

La memoria Random Access Memory (RAM) del equipo es más limitada de lo normal puesto que a diferencia de un ordenador personal: sólo contempla 512 MB o 256 MB disponibles, no se puede expandir con memoria adicional de la misma forma que se hace con un computador normal.

Las características gráficas que posee el equipo son algo vetustas incluso Raspberry Pi explica que los gráficos de Pi son más o menos similares a los de Microsoft Xbox (consola de juegos) que fue lanzada hace 10 años. Tomando en cuenta que tanto el Pentium 2 *Personal Computer (PC)* como el original de Xbox eran excelentes en aquella época (la primera Xbox se ejecutó en un procesador Intel Pentium 3 con un reloj de 450MHz con una Nvidia Geforce GPU).

Las cualidades de procesamiento no son tan rápidas como a las que un usuario de PC está acostumbrado; en la ejecución de programas complejos se pueden experimentar algunos problemas, a su vez presenta una adaptabilidad mayor que los computadores convencionales y gracias a sus virtudes está pensado para solventar problemáticas que no competen a un ordenador normal.

## **1.5 Descripción del proyecto**

Se presenta la descripción del proyecto.

### **1.5.1 Objetivo general**

Describir el comportamiento de un servidor de VoIP en código abierto sobre Raspberry Pi mediante un estudio técnico competente que determine el funcionamiento interno que permite la operatividad normal del dispositivo.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- A. Compilar la información necesaria para comprender los criterios redactados en la presente tesis a través de una investigación documentada en fuentes afines a la problemática tratada.
- B. Configurar un servidor de VoIP sobre un Raspberry Pi por medio de una aplicación en software de código abierto para incrementar la calidad de la red WiFi en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- C. Analizar las funciones de Voz y Datos en el servidor mencionado mediante un estudio de tráfico en la red para cuantificar la factibilidad de la cobertura WiFi en clientes móviles.
- D. Determinar los procesos internos que realiza el dispositivo Raspberry Pi al ser empleado como servidor VoIP de una red WiFi a través de ensayos técnicos que permitan idealizar su comportamiento.

## **1.6 Alcance**

Se considera que el dispositivo Raspberry Pi soporte la instalación, configuración y puesta en marcha de un servidor de VoIP, el mismo que debería albergar las

comunicaciones en modo inalámbrico a usuario o clientes móviles en una red WiFi.

Luego de implementar el servidor y agregarlo a la red local en la *Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (Fiec)* la investigación se enfocará en el estudio del comportamiento del servidor de VoIP, analizar su funcionamiento, interpretar los procesos internos que ejecuta, descifrar cómo opera y describir su desempeño en la cobertura de redes WiFi para clientes móviles.

En cuanto al estudio del comportamiento se espera realizar la explicación detallada de los acontecimientos que se susciten con relación al servidor y a los servicios que éste otorgue en la red a sus clientes móviles.

La investigación no profundiza en montaje de las partes o costos de la implementación, sino que le da un enfoque netamente técnico al trabajo propuesto; tampoco se detallan los ensayos realizados sino los resultados que arrojan éstos y las pruebas que demostraran el cumplimiento de los objetivos.

Los beneficiarios directos del proyecto son los profesionales de ingeniería-postgrado que se forman en la institución mencionada, gracias a que contarán con documentación práctica sobre el servidor que puede emplearse como una herramienta didáctica interactiva que es capaz de emular con alta fidelidad los problemas, funciones y procesos con los que se tratarán en su vida laboral. Los beneficiarios indirectos son el cuerpo estudiantil de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Computación debido a que obtendrán una red WiFi más eficiente; esto servirá de pauta para futuras investigaciones en el campo de la informática con equipo-software de licencia libre; además da indicios precisos sobre el entendimiento de un servidor (Raspberry Pi) en base a un estudio técnico competente que dejará de lado las inferencias empíricas sobre la temática.

### **1.7 Limitaciones**

El proyecto se aterriza geográficamente en la ciudad de Guayaquil, específicamente en la Escuela Superior Politécnica del litoral; socialmente se centra en las políticas nacionales que impulsa al desarrollo investigativo derivando en la producción de conocimiento referente a implementar equipos-

software informáticos de licencia libre; en la parte técnica se limita a las características y parametrizaciones propias del Raspberry Pi versión III que es objeto de estudio.

El proyecto no resuelve los problemas existentes en las redes de Internet de la FIEC sino que paralelamente abre una nueva red WiFi para estudiar el comportamiento del Servidor VoIP basado en el Raspberry Pi programado con el lenguaje *Hypertext Pre-Processo (PHP)* bajo una distribución Linux; la problemática se sitúa en torno a la carencia de conocimientos concretos sobre la operatividad del equipo mencionado; tampoco se enfoca en mejorar al equipo en sí ni modificar su configuración de fábrica; también se expresa que la investigación abre camino para buscar soluciones a los problemas sociales nacionales mediante la implementación de dispositivos de licencia libre.

En la actualidad, son muchos los centros educativos que utilizan computadoras dentro de sus programas educativos y, a edades tempranas, van introduciendo a los escolares en el uso del computador, ya sea en la navegación por Internet e incluso en el mundo de la programación; pero ninguna de estas unidades educativas específicamente en el nivel superior se ha interesado por incluir un instrumento de apoyo en el sector informático y usar sus bondades en el adiestramiento y desarrollo de habilidades interpersonales de los estudiantes que se inclinen por esta disciplina.

Con la idea de poder romper la barrera del desconocimiento surge esta investigación como un paradigma para el estudio y preparación de los estudiantes de la FIEC, personas que persiguen el desarrollo personal y profesional. Con esto se quiere establecer en el ámbito académico un documento que deje de lado las limitaciones que existen en relación al estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi y su incidencia en la cobertura de clientes móviles en una red WiFi.

## **1.8 Metodología**

El presente proyecto se plantea como una investigación científica cualitativa donde se considera el análisis y la observación directa de los acontecimientos recopilando datos a través de un escenario de producción, para este fin se

consideran pertinentes los siguientes procesos de compilación-tratamiento de información:

- Investigación Documentada: permite buscar criterios en fuentes afines a la temática tratada, en publicaciones de revistas, ponencias científicas, libros u otros medios donde exista información documentada sobre la problemática a solucionar.
- Experimentación: debido a la novedad del proyecto y la naturaleza del problema se debe realizar experimentos que proporcionen información adicional para esclarecer el comportamiento interno del servidor basado en Raspberry.
- Ensayo-Error: puesto que no se cuenta con una guía práctica o una referencia oficial sobre el funcionamiento interno del equipo se deberá ejecutar una serie de ensayos técnicos con la finalidad de comprender su comportamiento puliendo falencias previas en base a variar las condiciones que originaron resultados anteriores a los resultados definitivos del proyecto.
- Análisis Sistemático: es necesario comparar de manera organizada y meticulosa la conducta propia del equipo en sus actividades normales, comprar con otros dispositivos similares con los que se cuenta documentación para establecer a ciencia cierta el porqué de sus funcionalidades.

La combinación de las metodologías nombradas es lo que trazará el camino hacia la resolución de los percances que se presente en el desarrollo del proyecto; así como darán la evidencia del cumplimiento de los objetivos propuestos.

### **1.9 Perfil de tesis**

Este trabajo tiene como finalidad el estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi, para ello se debería instalar y configurar un sistema de comunicaciones unificadas orientado a pequeños entornos con baja densidad de población.

El propósito de la investigación, es estudiar los aspectos y factores que intervienen en el normal comportamiento de un servidor de VoIP una vez

instalado y configurado en el Raspberry Pi. Además, es importante conocer los niveles de cobertura que el servidor ofrecería a los clientes móviles.

Actualmente las soluciones de comunicaciones unificadas han cobrado gran importancia en el entorno empresarial. En ellas se integran los servicios de telefonía, correo electrónico, correo de voz, FACSÍMIL (FAX) y mensajería instantánea en una sola plataforma unificada con la finalidad de mejorar la productividad de una organización; debido a ello en el mercado de consumo es posible encontrar infinidad de soluciones de este tipo desde las más sencillas hasta las más sofisticadas.

La necesidad establecida en la problemática se resuelve mediante la implementación de un servidor de VoIP está basado en hardware y software libre, para esta fase se utilizará un Raspberry Pi como plataforma de hardware y miro-Elastix (Versión 4 - CentOS) que es un software de código abierto para comunicaciones unificadas. [2]

En este caso como plataforma de software se ha considerado Elastix debido a que esta distribución engloba a Free PBX y Asterisk, además su compilación es estable y versátil.

Para la interconexión con el *Servicio de Red Telefónica Pública (PSTN)* se coloca un Pasarela de voz, como resultado directo se propone el comportamiento del Servidor VoIP basado en Raspberry que ofrezca mejores condiciones, para mejorar (los problemas de cobertura) la cobertura inalámbrica.

Como beneficio adicional del presente proyecto es que facilita a los estudiantes de masterado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, pueden fortalecer su formación académica mediante la aplicación de un hardware que permita resolver problemas de comunicación en áreas de poca cobertura WiFi; en lugares de difícil acceso para la población estudiantil, específicamente de los servicios de telefonía de VoIP, mejorando su rendimiento en la transmisión de datos entre los distintos usuarios móviles. Las redes telefónicas tradicionales basadas en conmutación de circuitos se han caracterizado por brindar una excelente calidad a los usuarios en lo relativo al servicio de voz; no obstante, debido a la imposición de la era digital la nueva tendencia de la industria de las telecomunicaciones a nivel mundial, es

la de sustituir la conmutación de circuitos por la de paquetes, particularmente la establecida en el protocolo IP.

## CAPÍTULO 2

### 2. VOZ SOBRE PROTOCOLO DE INTERNET

Esta etapa comprende todos los criterios teóricos afines al campo de aplicación de la VoIP dentro de la investigación propuesta; dichos conceptos han sido recopilados por medio de fuentes bibliográficas fidedignas y expuesto desde la perspectiva del autor para inducir al entendimiento de su papel en el desarrollo del presente documento.

#### 2.1 Definición de VoIP

Es un proceso mediante el cual se transforman señales de audio analógicas (voz humana) y se convierten en datos digitales que pueden ser enviados a través de la red hacia una dirección IP; este medio tiende a sustituir al empleo de forma convencional debido a que es más eficiente, rápido y versátil en comparación con las redes PSTN [3].

Es importante diferenciar entre VoIP y Telefonía sobre *Protocolo de Internet (IP)*; debido a que el estudio se centra en una versión prototipo de VoIP sobre un servidor Raspberry Pi y no hace incursión alguna en el campo de la telefonía; en resumen, se distinguen de la siguiente manera:

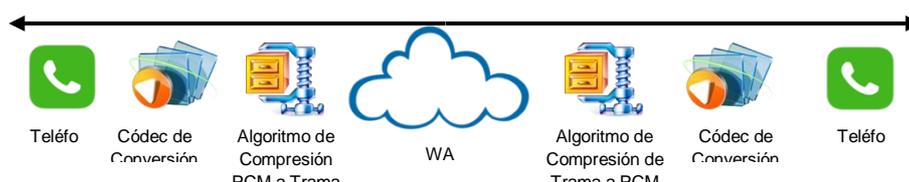
VoIP es la tecnología que permite comunicar voz sobre el protocolo IP, en ella se definen el conjunto de normas, dispositivos y protocolos a utilizar.

Telefonía sobre IP es el servicio telefónico disponible al público, se hace referencia a la numeración E.164 que ya acoge lo referente a la tecnología de VoIP.

La E.164 es una recomendación de la *Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)* que asigna a cada país un código numérico (código de país) usado para las llamadas internacionales, E.164 está compuesto por el código de país, código de zona o ciudad y un número telefónico.

## 2.2 Funcionamiento de una red VoIP

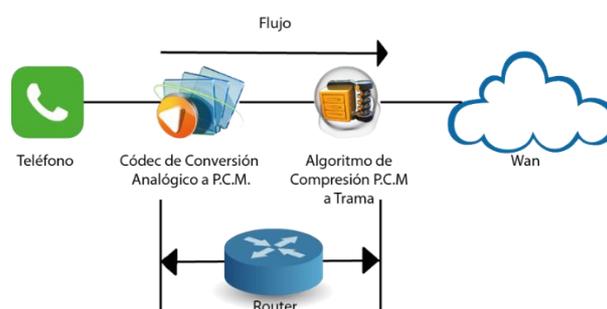
Básicamente se digitaliza la señal analógica que emite teléfono en señales *Pulse Code Modulation (PCM)* la misma que se transmiten como paquetes de datos y se convierten en audio analógico mediante un decodificador de voz [4].



**Figura 2. 1** Flujo en un circuito de voz, técnicas de compresión.

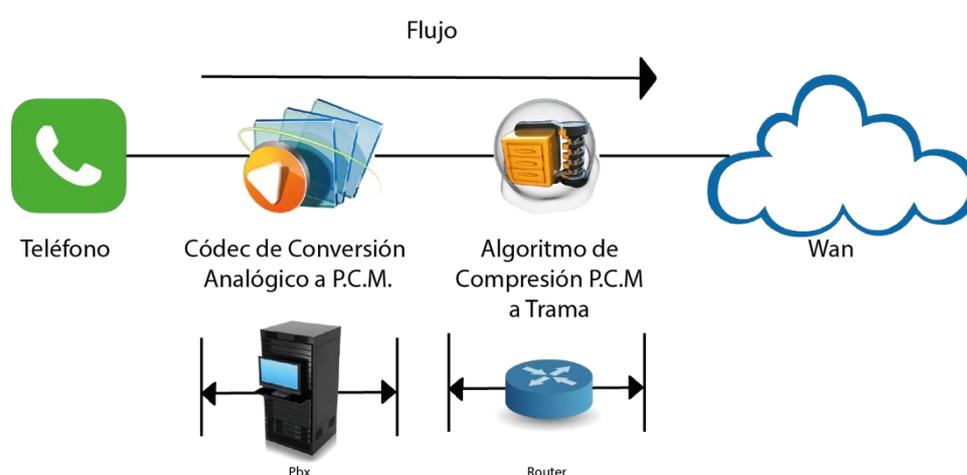
Para que las muestras PCM puedan enviarse en una Local Area Network (LAN) o *Wide Area Network (WAN)* mediante Internet se debe ejecutar un proceso denominado encapsulamiento en donde la señal digital pasa a un algoritmo de compresión que los fracciona en paquetes; una vez llegada a su destino se realiza un proceso inverso; en la *Figura 2.1* se aprecia el flujo de un circuito de voz al cual se le aplica técnicas de compresión con el objetivo de mejorar la transmisión y la recepción.

Dependiendo de la forma en la que la red esté configurada, el encaminador (*router*) o la pasarela (*pasarela*) puede efectuar la labor de codificar, decodificar y la compresión; se ejemplifica lo siguiente: si en la práctica se utiliza un sistema análogo de voz, entonces el encaminador o la pasarela pueden cumplir todas las funciones mencionadas anteriormente tal como se observa en la *Figura 2.2*.



**Figura 2. 2** Flujo en un circuito de voz comprimido utilizando encaminador

En otro caso; si el dispositivo utilizado es un *Private Branch Exchange (PBX)* digital, cuyas siglas en inglés quieren decir (Central Secundaria Privada), entonces este equipo es el que realiza la función de codificar y decodificar, mientras que el encaminador solo se dedica a procesar y a encapsular las muestras PCM de los paquetes de voz que se le hayan enviado al PBX, tal como se aprecia en la *figura 2.3*.



**Figura 2. 3** Flujo en un circuito de voz con técnicas de compresión utilizando PBX y encaminador

La interfaz que se define como la puerta de enlace es vital para transportar los datos de voz sobre una red pública de Internet; su función en el lado del emisor es convertir la señal analógica de audio que luego será transformada en datagramas IP, comprimiendo para ser enviados a través de la red, en el lado del receptor su labor es inversa debido a que se integran los datagramas IP a su forma analógica rearmando el mensaje desde el último tramo de la red telefónica para ser dirigido a la bocina del receptor.

Los parámetros que caracterizan de forma principal en la red son el direccionamiento, el encaminamiento y la señalización; para tal efecto se describe cada uno de ellos:

- El direccionamiento: proporciona un mecanismo para identificar los eventos que se suscitan al momento de abrir el canal de comunicaciones, también permite diferenciar el origen y destino de las llamadas; además proporciona la asociación

de claves en el servicio de las llamadas según sea la prioridad que exista internamente en la red.

- El encaminamiento: encaminar datagramas por el trayecto más eficiente por medio de la red, a este mecanismo lo determina el diseñador de la red que busca la mejor manera de encaminar la información desde el origen hacia el destino.
- La señalización: cumple la función de emitir las alertas a las estaciones o terminales, ya sean estas computadoras, dispositivos móviles, o cualquier otro artefacto que preste las funciones de un periférico acorde para el establecimiento de una conexión.

### 2.3 Razones para usar VoIP

La VoIP es una tecnología que usa Internet y software (*softphone*) para abaratar las llamadas telefónicas.

La evolución de las conversaciones mediante la *Voz sobre protocolo de internet* (VoIP) ha pasado desde baja calidad en años anteriores lo que conlleva a ser superado por la tecnología convencional; hasta la aparición de la banda ancha que causó una proliferación en las conexiones impulsando su uso. Hoy en día se usa este medio de forma indirecta sin que el usuario lo sepa puesto que las operadoras de telefonía tradicional emplean servicios VoIP para establecer llamadas de larga distancia y de esta forma reducir los costos. Gracias a esto en el futuro las tecnologías convencionales sean reemplazadas completamente por la VoIP debido a que ofrece mayor ventaja a bajo costo lo que se traduce como un alto impacto socioeconómico que marca un paso en el desarrollo de las telecomunicaciones. Un ejemplo de ello la aplicación *WhatsApp* a más de proveer el tráfico de voz y datos, ya permite realizar llamadas de voz, así como las video-llamadas sobre la red de Internet [5].

### 2.4 Ventajas de la VoIP

Presenta notorias facilidades sobre la tecnología telefónica actual:

- Permite sintetizar las tareas a ejecutarse, es decir encaminar las llamadas automáticamente a un teléfono que soporte VoIP sin importar su zona horaria o lugar mientras tenga conexión a Internet; si se usan redes telefónicas

comunes se necesitaría una mayor cantidad de tiempo y recursos para establecer la misma llamada.

- Se pueden recibir llamadas en cualquier sitio siempre que se tenga acceso a Internet; actualmente existen números telefónicos gratuitos para usar con VoIP disponibles en Estados Unidos de América, Reino Unido y otros países con organizaciones de usuarios VoIP.
- No requiere de instalaciones inmobiliarias fijas, esto permite a los agentes de call center de telefonía VoIP poder trabajar en cualquier lugar con una conexión a Internet que cumpla con los requisitos necesarios.
- Algunos paquetes de VoIP incluyen servicios extra por los que la *Red Telefónica Pública Conmutada* (PSTN) normalmente cobra un cargo extra, o que no se encuentran disponibles en algunos países, como son las llamadas de 3 a la vez, retorno de llamada, remarcación automática e identificación de llamada.
- Las personas que utilizan el servicio de *Voz sobre el protocolo de Internet* (VoIP) pueden movilizarse a cualquier lugar o punto geográfico, pero mientras se encuentren conectados a Internet ellos podrían seguir recibiendo y hacer llamadas a sus contactos o cualquier otro número o extensión IP. Este ejemplo se desarrolla de esta forma; los suscriptores del servicio realizan y reciben las llamadas dentro o fuera de su localidad, estas llamadas se las considera como locales y serán cobradas como tal; como ejemplo de ello: un usuario puede viajar de Ecuador a España y decide hacer una llamada desde España esta será tratada como una llamada local; para utilizar este servicio ambos usuarios deben contar con una conexión de Internet que facilite el establecimiento de la llamada.
- La Mensajería Instantánea que se basa en servicios de *Voz sobre el protocolo de Internet* (VoIP) puede ejecutarse durante un viaje manteniendo su comunicación sin importar la zona o lugar; además permite la integración con otros servicios disponibles en Internet, incluyendo videoconferencias, intercambio de datos, mensajes con otros servicios en paralelo con la conversación, audio conferencias, administración de libros de direcciones e intercambio de información con otros dispositivos.

- Está economizando las comunicaciones internacionales y mejorando por tanto la relación entre proveedores-clientes, o entre delegaciones del mismo grupo. Se está incorporando a portales web a través de aplicaciones específicas, permitiendo a los usuarios entablar una junta con una empresa en concreto fijando una hora determinada, dicha reunión se gestiona mediante una operadora VoIP.
- Ha evolucionado tanto que permite integrar video y *Terminal Punto de Venta (TPV)* que reduce los trámites referentes a compras; inclusive facilita que los números 800's que no son geográficos puedan llamar a una línea IP. Una cualidad que se destaca es que con la mejora en equipos y digitalización de recursos lo que antes era una central telefónica confinada a un área inmobiliaria es ahora un software instalable en un pequeño servidor con las mismas funcionalidades.
- Por su estructura el estándar *Internet Protocol (IP)* proporciona varias funcionalidades que no se hallan en redes telefónicas convencionales; permite controlar el tráfico de la red, por lo que se disminuyen las posibilidades de que se produzcan caídas importantes en el rendimiento; además las redes soportadas en IP son independientes del tipo de red física que lo soporta.
- Otras bondades que ofrece es su independencia del hardware utilizado, permite ser implementado tanto en software como en hardware, se puede conformar como parte de las grandes redes IP a nivel mundial. [6]

## 2.5 Desventajas de la VoIP

Se derivan de los requisitos necesarios para su uso:

- La calidad de la transmisión es un factor relevante, llegando a ser inferior a la telefonía convencional debido a que los datos viajan como paquetes se puede perder información o demorar la transmisión hasta su destino; el problema no se encuentra en el protocolo VoIP sino en la red puesto que no fue diseñada para garantizar un servicio adecuado al usuario.
- La voz ha de codificarse para poder ser transmitida por IP. Para ello se hace uso de *Codificador-decodificador (CODEC)* que garanticen la codificación-

compresión del audio o del video para su posterior decodificación-descompresión antes de poder generar un sonido o imagen utilizable. Según el CODEC utilizado en la transmisión, se utilizará más o menos ancho de banda, la cantidad de ancho de banda utilizada suele ser directamente proporcional a la calidad de los datos transmitidos. Entre los CODEC utilizados en VoIP encontramos los G.711, G.723.1 y el G.729 especificados por la *Telecommunication Standardization Sector* (ITU-T). Estos CODEC tienen este tamaño en su señalización. El *bitrate* de estos estándares es:

- G.711: 56 o 64 Kbps.
- G.722: 48, 56 o 64 Kbps.
- G.723: 5,3 o 6,4 Kbps.
- G.728: 16 Kbps.
- G.729: 8 o 13 Kbps.

Esto no quiere decir que es el ancho de banda utilizado, por ejemplo, el CODEC G.729 utiliza 31.5 Kbps de ancho de banda en su transmisión [7]:

- La latencia es una debilidad debido a que cuando un usuario habla y otro escucha, no es adecuado tener 200 ms de pausa en la transmisión; porque la normativa establece que los retrasos de tránsito y el retraso de procesado la conversación se considera aceptable por debajo de los 150 ms; para evitar estos retrasos se debe controlar el uso de la red para garantizar una transmisión de calidad.
- Durante su recorrido por Internet las tramas se pueden perder como resultado de una congestión en la red o corrupción de datos; para tráfico de tiempo real no es recomendable retransmitir tramas porque ocasiona retrasos adicionales. La calidad en la transmisión de las tramas depende de cómo las terminales de voz gestionen las *Frame Erasures* (muestras de voz pérdidas). En caso de perder una muestra de voz se escucha un intervalo en el flujo de voz; si se pierden muchas tramas la voz sonarían en sílabas o palabras entrecortadas; una posible estrategia de recuperación es reproducir las muestras de voz previas. Esto funciona bien si sólo unas cuantas muestras son pérdidas, para combatir mejor

las ráfagas de errores usualmente se emplean sistemas de interpolación basados en muestras de voz previas, el decodificador predecirá las tramas perdidas, dicha técnica es conocida como *Packet Loss Concealment (PLC)*.

- El ocultamiento de PLC es una tecnología diseñada para minimizar el efecto práctico de paquetes perdidos en las comunicaciones digitales.
- Los robos de datos constituyen una amenaza; un cracker puede tener acceso al servidor de VoIP accediendo a los registros almacenados y al propio servicio telefónico para escuchar conversaciones o hacer llamadas gratuitas a cargo de usuarios.
- Virus en el sistema, en el caso que un virus infecta algún equipo de un servidor VoIP, el servicio telefónico puede quedar interrumpido. También pueden verse afectados otros equipos que estén conectados al sistema.
- Suplantaciones de *Identificación (ID)* y engaños especializados. Si un cliente no está bien protegido pueden sufrir de fraudes por medio de suplantación de ID.

## **2.6 Protocolos para transmitir Voz sobre IP**

El conjunto de reglas que rigen la transmisión de datos es variado y complejos por ende a criterio de la investigación se ha seleccionado aquellos protocolos que poseen mayor afinidad con los objetivos propuestos: H.323 y *Session Initiation Protocol (SIP)*.

### **2.6.1 Protocolo H.323**

El *Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T)* H.323 dicta las normas para la comunicación de paquetes a través de la red. Esta fue aprobada en 1996 y revisada en 1998 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y tiene como objetivo normalizar las comunicaciones de multimedios sobre Internet. Tiene gran variedad de configuraciones y es independiente al tipo de red física que la soporta.

Este protocolo establece ciertos requisitos para VoIP:

- Utilizar un ancho de banda pequeño.
- Alta calidad en la voz ofrecida.
- Bajo tiempo de latencia.
- Habilidad para reconstruir los paquetes.

La VoIP con el protocolo H.323 se apoya a su vez en otros estándares-normativas que ayudan a realizar distintas funciones de la comunicación digital:

- *Direccionamiento*: se utilizan los protocolos *Registration, Administration and Status (RAS)* que sirve para que una estación H.323 localice a otra H.323 a través del Gatekeeper, y la *Domain Name Service (DNS)* que tiene el mismo objetivo que el protocolo *Registration, Admission and Status (RAS)* pero a través de un servidor DNS.
- *Señalización*: primero el protocolo Q.931 señala el inicio de la llamada, después el protocolo H.225 controla la llamada (en cuanto señalización, registro y admisión) y empaquetamiento y sincronización. El H.245 es un protocolo de control para mensajes de apertura y cierre de canales de voz.
- *Compresión de voz*: los CODEC más utilizados son el G.711 y el G.723, además se pueden usar otros opcionales.
- *Transmisión de datos*: existen 2 tipos de protocolos. El *User Datagram Protocol (UDP)* para los que la transmisión se realiza sobre paquetes UDP donde el aprovechamiento del ancho de banda es mayor que con *Transmission Control Protocol (TCP)*. El *Real Time Protocol (RTP)* que maneja aspectos relativos a la temporización.
- *Control de transmisión*: *Real-time Transport Control Protocol (RTCP)* es el que detecta situaciones de congestión de red y toma acciones correctivas; tal como se observa en la *Figura 2.4* [3].



**Figura 2. 4** Pila de protocolos VoIP/H.323 según modelo OSI.

El H.323 se puede utilizar en diferentes configuraciones, entre las cuales se encuentran la configuración punto a punto, de punto a multipunto y de multipunto a multipunto:

- *Punto a punto*: conexión de dos elementos H.323 conectadas redes que pueden ser diferentes. La implementación del software es difícil y lenta lo que presenta una seria desventaja en la instalación.
- *Punto a multipunto*: varios elementos H.323 están bajo la administración de un único *gatekeeper* (encargado de rastrear y registrar a los H.323) haciendo más fácil manejar varias pasarelas H.323. El problema reside en que cada *gatekeeper* solo puede controlar un número finito de pasarelas antes de saturarse. Esto se vuelve un cuello de botella en cada *gatekeeper*, por lo que se procede a utilizar múltiples H.323 a múltiples *gatekeepers* logrando una conexión multipunto a multipunto, su inconveniente está que el protocolo H.323 no tiene definido la conexión entre *gatekeepers*, por lo que si un operador tiene uno que quiera llamar a otro operador de una red diferente; uno de ellos debe ceder el control de su red al otro.

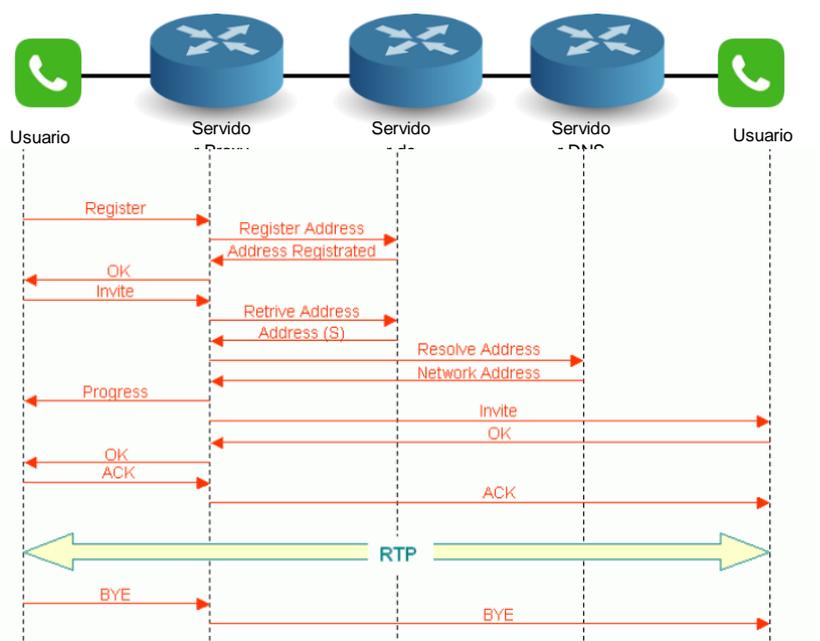
### 2.6.2 El estándar SIP

Realizado por la *Fuerza de trabajo de ingeniería de Internet (IETF)* para comunicación multimedia (VoIP). Se denomina SIP por sus siglas en inglés *Session Initiation Protocol* (Protocolo de Inicio de Sesión) y es el que define las reglas de cómo realizar llamadas, videoconferencias y demás conexiones multimedia.

Contiene un único módulo capaz de interactuar con las aplicaciones de Internet, a diferencia del H.323 que es un conjunto completo de protocolos; en él se pueden hacer llamadas bipartitas o multipartidas, además en cada sesión se puede transmitir audio, video o datos; delegando al SIP la única función de manejar el establecimiento y la terminación de las sesiones [8].

Los números SIP se basan en una dirección *Uniform Resource Locator (URL)* integrado a un servidor DNS, por lo cual se basa solo en texto y el mensaje http. La comunicación está basada en mensajes de texto ASCII definidos por diferentes parámetros dividiéndose en dos tipos de llamado y de Respuesta (Request and Response).

La idea básica de la señalización se esquematiza a través de la *Figura 2.5*.



**Figura 2. 5** Señalización básica de SIP.

Interactúa bien con otros protocolos de Internet, pero no compagina bien con las formalidades de señalización en los sistemas telefónicos, por lo que en telefonía se acostumbra a utilizar al protocolo H.323 por ser más grande, complejo y robusto.

Los métodos de especificación para messages Request- Response corresponden a:

- INVITE: inicio de sesión.
- ACK: confirma que se ha iniciado sesión.
- BYE: solicita término de sesión.
- OPTIONS: consulta a un host sobre sus capacidades.
- CANCEL: cancela solicitud presente.
- REGISTER: informa a un servidor de re direccionamiento sobre la ubicación actual del usuario.

## 2.7 Procedimiento de comunicación de VoIP

El procedimiento de comunicación de H.323 se divide en distintas etapas (suponiendo una comunicación de dos terminales y un gatekeeper) dichas secuencias son:

- *Descubrimiento*: determina cual es el *gatekeeper (GK)* que administra la red en el momento de la conexión. El mensaje enviado se denomina *Gatekeeper Request (GRQ)* y el GK responde con un rechazo GRJ (GK reject) o una aceptación *GCF (GK Confirmation)*, también se puede indicar un GK alternativo.
- *Registro*: el terminal informa las direcciones de alias y transporte por medio de la orden *Registration Request (RRQ)* y el GK acepta RCF o rechaza RRJ, el registro tiene un tiempo limitado de duración.
- *Ubicación*: un GK o un terminal que tiene un alias de un terminal, puede conocer la información del contacto puede mandar el mensaje *Location Request (LRQ)*, la respuesta debe ser Location Confirmation LCF para aceptar la petición y brindar después la información solicitada.
- *Admisión*: el pedido de admisión *Admissions Request (ARQ)* debe tener un requisito de llamar ancho de banda. El GK confirma la orden con el mensaje ACF.
- *Ancho de banda*: se puede hacer un cambio de ancho de banda con el mensaje *Bandwidth Change Request (BCR)*.

- *Estatus*: mensaje periódico que emite el GK para determinar el estado y requerir diagnóstico. La petición se realiza por el mensaje *Information Request (IRQ)* y es responde con *Gatekeeper Request (IRR)* dando la información solicitada [9].

## CAPÍTULO 3

### 3. CENTRALES TELEFÓNICAS CON ASTERISK

En este apartado se destacan todos los criterios competentes a la instalación de centrales telefónicas basadas en Asterisk, también redacta los antecedentes del software citado debido a que es el gestor del sistema telefónico; también se resume su intendencia en el diseño e implementación del aporte práctico del presente proyecto investigativo [10].

#### 3.1 Definición de central IP

Es un equipo de comunicación que trabaja internamente con el Protocolo de Internet, este dispositivo está diseñado de tal manera acopla fácilmente cualquier infraestructura facilitando las conexiones a través de una red de datos o en su defecto haciendo la interoperabilidad de conectar la red de voz hacia la red de servicios públicos (PSTN), permite la reducción de procesos en las conexiones interna y externa mejorando la calidad de servicio entre los usuarios.

Además, estos equipos poseen la misma capacidad que sus predecesoras (centrales tradicionales), es decir realizan-reciben llamadas desde y hacia el exterior o interior, tienen la facultad de administrar equipos y líneas analógicas, a la su vez sirve como interfaz de pasarela para conectar las llamadas por medio de líneas digitales hacia una *Local Area Network* (LAN) o *Wide Area Network* (WAN).

Con las bondades que caracterizan a la central IP cada usuario cuenta con la opción de emplear una extensión IP y a través de ella hacer uso de las funciones que ofrece dicho gestor como efectuar llamadas internas o externas, buzón de voz, mensajería, transferencias de llamadas, conferencias online; entre otros atributos que dicha tecnología otorga.

La comunicación que se genera entre la central IP y sus extensiones son a través de paquetes de datos, por tal motivo el equipo se encuentra diseñado para asumir funcionalidades multitarea; sin embargo, existen casos específicos en que la central puede estar basada en Hardware o en Software evidenciándose una diferencia entre ambos aspectos, la más notable es que el nivel de procesamiento de datos y la velocidad en las comunicaciones son más rápidas en la versión basada en Hardware debido a que sus componentes al igual que su procesador están pensados para ejecutar un esquema de procesos con funciones definidas; mientras que la basada en software emplea procesos virtuales para sustituir a las funcionalidades físicas del hardware.

### **3.2 Ventajas de la Central IP**

Uno de los beneficios principales de emplear la tecnología VoIP radica en la posibilidad de utilizar una conexión a Internet como una plataforma de transmisión de datos y llamadas de muy bajo costo a través de la red, lo cual facilita comunicarse a cualquier parte del mundo con un costo mucho menor que la utilización de la red telefónica tradicional [11].

La Sociedad contemporánea se gesta en la producción del conocimiento optimizando procesos y actualizando tecnologías de forma continua por ello como pilar fundamental del medio moderna la comunicación se encuentra en una etapa de innovación donde se buscan mejores soluciones a los problemas actuales, pero con mayores facilidades que sus predecesores; un ejemplo de ello son las centrales IP que destacan por las siguientes potencialidades:

- Operatividad y administración simplificada, permite controlar la central con total facilidad.
- Su Sistema Operativo es liviano y consume menor cantidad de recursos del hardware, garantizando mayor velocidad en las operaciones internas.
- Minimiza al máximo los tiempos de respuestas frente a anomalías que se llegaran a suscitar en la red.
- No requiere de experiencia previa para su administración, el sistema está pensado para facilitar la jornada laboral.

- Permite extender la red de usuarios externamente de los perímetros del lugar de trabajo a través de las conexiones de Internet.
- Disponibilidad del 99.9% en la conexión de las extensiones internas y externas con total transparencia.
- Fácil integración con agentes externos de telefonía IP y VoIP (Softphone).
- Se integran con cualquier fabricante de equipos terminales.
- En el caso de estar basado en Software, el Sistema Operativo mantiene embebido todas las funciones, con procedimientos que permiten gestionar el servidor y acondicionarlo a fin de que su comportamiento sea el mismo de una Central IP.

### **3.3 Concepto de Asterisk**

Asterisk es una completa solución de centralita IP por software. Se instala sobre cualquier plataforma de servidor con sistema operativo Linux (GNU Linux) y con los interfaces apropiados de telefonía (para líneas analógicas o RDSI) convierte a dicho sistema en una potente centralita telefónica [12].

Es un software de licencia tipo código abierto que tiene la capacidad de convertir un equipo informático en una central telefónica, dotándolo con las funciones operativas necesarias para gestionar telefonía IP y VoIP.

Desde la perspectiva del presente proyecto se redefine Asterisk como una herramienta con características concisas que ofrece la escalabilidad-robustez necesaria para la conformación de una plataforma de comunicaciones compatible con cualquier entorno de trabajo desde una red doméstica hasta una corporativa; un factor que se destaca sobre el uso de este software es que su distribución se efectúa libremente; lo que da paso a la formación de una extensa comunidad de desarrolladores que han mejorado el código fuente original en forma general, enriqueciendo el propósito fundamental de los sistemas de colaboración y comunicación telefónica en la era digital.

La manejabilidad que brinda Asterisk para adaptarse a los requisitos en logística de telecomunicaciones hace que se considere como la solución principal al momento de planificar proyectos de telefonía por parte de empresas competidoras en el mercado; gracia a ello hoy en día es considerado tendencia mundial a la hora de integrar hardware y configurar software en este tipo de trabajos ya sea a mediana o gran escala; además posee notorias ventajas sobre sus rivales de licencia propietario como su versatilidad-compatibilidad para configurar sistemas operativos en dispositivos afines a procesos tele comunicativos, compagina con el 99% de los hardware disponibles; en contraste con su contraparte (software pagados) solo son compatibles con hardware de la misma empresa y en base a sus propios intereses.

En cuestión de desarrollo de hardware la mayoría de los fabricantes han sumado criterios y esfuerzos para ofrecer hardware telefónico compatible con Asterisk, haciendo énfasis en las tarjetas de Red Telefónica tipo *Interconexión de Componentes Periféricos (PCI)* siendo el medio encargado de realizar la conexión física entre del equipo que funciona como central telefónica con la PSTN; a su vez esto ha favorecido que la preferencia de centrales telefónicas basadas en Asterisk aumente en los últimos años.

Para obtener un rendimiento y desempeño máximo al emplear Asterisk, se lo debe instalar sobre un sistema operativo Linux o Unix; pese a que hay una versión disponible para Windows no se recomienda debido a que el código fuente del software está escrito de tal forma que aprovecha todas sus potencialidades al fusionarse con el sistema operativo adecuado.

#### **3.4. Generalidades sobre Asterisk**

Entre las generalidades de Asterisk se menciona que fue desarrollada por el señor Mark Spencer en colaboración con un grupo de profesionales en ingeniería informática durante el año de 1999 bajo la tutela de la empresa Linux que había sido fundada como Support Services, pero fue en el año 2001 que la institución realizó una reingeniería y se convirtió en lo que hoy en día se conoce como Digium.

Una vez se instauró el proyecto Spenser encaminó sus acciones a complementar Asterisk mediante nuevas capacidades y diseñar hardware que interpreta correctamente las sentencias encriptadas en su programación; su arquitectura está basada en 4 ejes fundamentales las mismas que son administradas a través de *Interface de Programación de Aplicaciones (API)*, se describen a continuación:

- API para administrar los canales de conexión a través de los protocolos SIP o H323.
- API para ejecutar las aplicaciones a través de una programación modular cumpliendo la función de separar las tareas específicas del software de tal manera que hace la diferenciación entre una Conferencia, Buzón de Voz, Llamada...
- API al gestionar la traducción de CODEC con el objetivo de proveer del soporte para la codificación-decodificación del audio en los estándares conocidos ya sean G711, G729, GSM...
- API para administrar los formatos en los que están escritos los archivos de Asterisk, con este procedimiento se controla la lectura y la escritura de varios formatos de archivos para el almacenamiento de los datos en el sistema de archivos principal.
- Con el uso de estas API, Asterisk obtiene una completa abstracción entre sus funcionalidades, diferentes tecnologías y aplicaciones con las que se haya fusionado el Software Base, esto mejora los parámetros de estabilidad e integración con distribuciones de Linux basadas en Debian, Red Hat o cualquier otra variante.
- Otra cualidad destacable que se evidencia con el uso de Asterisk es la supresión del cableado telefónico, gracias a que la telefonía se acopla automáticamente a la red de datos existente haciendo que cada llamada sea transportada en paquete de datos desde el origen hacia el destino.

La instalación y configuración se realiza fácilmente por medio de un asistente con interfaz web; su implementación permite un alto grado de movilidad entre los usuarios de la red en base a que la estructura del software permite registrar y validar las terminales desde cualquier punto de la red sin tener que hacer ningún tipo de cambio o modificaciones en la infraestructura, las competencias generales que posee Asterisk son las siguientes:

- Contestación Automática de Llamadas.
- Transferencia de Llamadas.
- Opción de No Molestar.
- Llamadas en Espera.
- Contestación de una llamada a una extensión remota.
- Monitoreo y Grabación de Llamadas.
- Mensajes de Voz.
- Conferencias entre usuarios internos y externos.
- Reportes de Llamadas.
- Atención en cola.
- Parqueo de Llamadas.
- Identificador de Llamante.
- Bloqueo de Llamadas Entrantes.
- Recepción de Fax.
- Listado Interactivo del Directorio de Extensiones.
- Respuesta de Voz Inmediata.
- Melodías o Música de Espera.
- Condiciones de Tiempo.

- Desvío de Llamadas.

### **3.5 Asterisk y su entorno**

En los últimos años ha obtenido una armonía apropiada en todas las redes de comunicación de las que forma parte activa, dicho mérito se debe a que en los últimos cinco años el proyecto ha sufrido un rediseño general tanto en código fuente como en cada uno de sus componentes; cabe indicar que al Kernel (núcleo Linux) se le han incorporado aspectos técnicos que lo vuelven totalmente configurable a cuestiones de hardware-software que lo vuelven idóneo para entornos específicos como sistemas administrativos en ambientes hostiles, estos medios pueden ser: áreas hoteleras, empresariales, industriales, aeronáuticas, marítimas y hospitalarios.

Tales modificaciones permiten dotar de funcionalidades avanzadas al Asterisk para la implementación e incorporación de gestión de procesos para el tratamiento de datos, así como del tráfico que exista en la red; con ello se garantiza un mejor nivel de control en las acciones e incidencias de la central IP. Estos avances van de la mano con las alianzas de las empresas en los sectores estratégicos alcanzando la meta de implementar software personalizado para casos particulares que requieren tratamientos especiales, desde el punto de vista técnico se ofrece el servicio e implementación propia o de terceros manteniendo la escalabilidad y estabilidad del producto.

#### **3.5.1 Versiones de Asterisk**

Desde sus inicios se ha mantenido en constante evolución lo cual da paso a la aparición de nuevas versiones del software, la intención de sus desarrolladores en las nuevas adaptaciones de Asterisk es de corregir los errores técnicos que se han producido o reportados en versiones anteriores, por lo general se corrigen problemas de seguridad, estabilidad y compatibilidad de la plataforma agregando o eliminando características que corrijan el comportamiento del software haciéndolo más liviano-rápido o más pesado-lento; estos aspectos son proporcionales a la cantidad de recursos que consuma la solución informática.

Comúnmente antes de anunciar una nueva versión se acostumbra realizar un pre lanzamiento de las nuevas versiones del Software denominadas Beta con la finalidad que el programa sea puesto a prueba en todos los entornos posibles, para este proceso se cuenta con la ayuda de la comunidad Beta Tester de Asterisk en todo el mundo; el objetivo de la asociación nombrada es el testeo de la herramienta llevándola al máximo nivel de exigencia para forzar en toda su capacidad al sistema y evidenciar fallas o anomalías que comprometan la estabilidad, seguridad y compatibilidad de Asterisk; en caso de detectarse algún percance o fallo se reporta de manera inmediata a los desarrolladores de la solución para que luego de comprobar el correcto funcionamiento del software se ejecuta compilación final que precede al lanzamiento oficial de la versión enunciada.

La versión estable de Asterisk está compuesta de manera modular, cada uno cumple una función determinada y se comunican entre sí por medio de un algoritmo de codificación estructural que se encarga de tomar y procesar los requisitos de cada módulo del sistema. Los módulos que componen a esta versión son los siguientes:

- Asterisk: archivos base del proyecto.
- DAHDI: soporte para el hardware, proporciona un compilado de instaladores o Drivers de tarjetas de comunicación.
- Addons: se denomina de esta forma a los complementos de paquetes desarrollados para Asterisk. Son opcionales. Pero a partir de la versión 1.8.x ya se encuentran incluidos en el paquete de instalación, solo es necesario activarlos desde la consola de administración.
- Libpri: provee del soporte para conexiones digitales, este módulo puede ser opcional.
- Sounds: aporta sonidos y frases en diferentes idiomas viene incluido por defecto en el paquete de Asterisk.

- GUI: administración a través de una interfaz Web gráfica y amigable que permite la administración de la central telefónica de forma sencilla para el usuario
- Apache: embebe al servidor web para la publicación de los servicios en la red.
- MySQL: contiene al Sistema Manejador de Bases de Datos para la fusión y almacenamiento de datos de la central IP (Disponible con la variante de AsteriskNow).
- Centos: distribución Linux basada en Linux Red Hat Enterprise que actúa como sistema operativo base para la instalación de Asterisk (Disponible con la variante de AsteriskNow).

Cada módulo cuenta con una versión estable y la versión beta o de desarrollo. La forma correcta para identificarlas es la siguiente:

- Primero se debe especificar tres dígitos separados entre sí por un punto.
- El primer número por lo general es el uno, el segundo número indica la versión del software, mientras que el tercer dígito indica la revisión liberada.
- Es importante saber que en las revisiones se llevan a cabo correcciones, pero no se incluyen nuevas funcionalidades o características que resuelvan de forma inmediata algún tipo de error.
- En la versión de desarrollo el tercer dígito por lo común suele ser un cero, seguido de la palabra *beta* y se agrega un número, para indicar la codificación de la revisión.

En la cronología de Asterisk se pueden citar las siguientes versiones:

1999 - Asterisk 0.1, pero se publicó en el 2002 como una PBX para DIGUM. 2004 - 1.0. 2005 - 1.2. 2006 - 1.4. 2008 - 1.6.0. 2009 - 1.6.1. 2009 - 1.6.2. 2010 - 1.8.0. 2011 - 1.0.x. 2012 - 11.x. 2015 - 13.x y 2017 - 14.x.

### 3.5.2 Mejoras en Asterisk

Entre sus perfeccionamientos se observa un cambio orientado a un modelo de negocios que se acopla fácilmente a las medianas y grandes empresas permitiendo crear aplicaciones sobre la plataforma provista por los desarrolladores de Asterisk, la versatilidad del escenario va desde la creación de módulos o complementos para las comunicaciones hasta la creación de sistemas homologados para la gestión de toda la organización, la misma que está basada en la satisfacción del cliente, actualmente se puede demostrar que los sistemas *CRM* del término en inglés *Customer Relationship Management*, funcionan correctamente sobre el sistema de colaboración de Asterisk. Esta sinergia se hace posible mediante la conceptualización de un nivel de entidad de negocios, la misma que encapsula tres niveles fundamentales necesarios para el desarrollo de nuevas aplicaciones y mejoras: nivel de acceso a datos, nivel de negocios y nivel de presentación, en la *Figura 3.1* se aprecia la conceptualización citada.



**Figura 3. 1** Conceptualización del nivel de Entidad de Negocios

Con tales aditamentos se incluye un rediseño completo en la arquitectura de los complementos a los cuales se los conoce con el nombre de *Addons*, de esta forma se logra incluir el desarrollo de terceros con el objetivo de personalizar la plataforma de acuerdo a las necesidades de implementación que requieran el administrador de la red, para esta finalidad los nuevos desarrolladores de soluciones en mejoras para Asterisk hacen su despliegue sobre el nivel de negocios debido a que desde este punto logran controlar el acceso a los datos y su relación respecto al usuario.

Para consolidar sus potencialidades se ha considerado la administración del recurso hardware incluyendo la vinculación directamente con el kernel para una mejor compatibilidad con los controladores de componentes físicos obsoleto y actual; por lo tanto, se puede actualizar a cualquier kernel sin tener problemas de incompatibilidades.

El soporte para la comunicación, compresión, codificación y decodificación mediante el uso de los CODEC ha mejorado notablemente gracias al uso de nuevos protocolos que han optimizado en un 100% dichos aspectos; esto beneficia a la intercomunicación con otras centrales permitiendo extender la cobertura hacia otras redes ya sean propietarias o basadas en Open Source.

Todo lo que se ha contemplado para mejorar la plataforma de Asterisk ha surtido efecto de la siguiente forma:

- Se mejoró la calidad en las llamadas en la red con alto tráfico.
- Se hizo una simplificación en la programación y configuración en el plan de marcado.
- Se agregó el soporte para codificación de acuerdo al protocolo T38 para el envío-recibimiento de faxes a través de la red de datos de manera totalmente confiable y con un procedimiento transparente para el usuario.
- Soporte para clientes de mensajería instantánea a través de protocolo Jabber haciéndolo compatible con la herramienta de otros fabricantes.

- Se ofrecen mejores características para el soporte de idiomas con la agregación de nuevos sonidos y una mejor estructura gramatical.
- Se incorpora en un mismo buzón las funcionalidades de administrar fax, correo electrónico, mensajes de voz para enviar-recibir y mensajear desde cualquier dispositivo móvil o fijo compatible a su red.
- Se administra con mayor cautela el hecho de poder interrumpir las llamadas, silenciar e incluso graduar el volumen de la llamada en tiempo real.
- Permite la distinción de usuarios y contactos asignados diferentes tonos inclusive la agregación de nuevas opciones para el tratamiento de los datos.
- Se puede realizar videoconferencias compatibles con red móvil 3G mediante el estándar H.264 con ello se garantiza óptima calidad en la transmisión del video.
- Soporte mediante el uso de Radius con la finalidad de llevar un registro de llamadas como un método de seguridad.
- Mejora en el diseño de la interfaz web, posee un entorno minimalista, más práctico en sus funciones y accesos de control para el usuario.
- Permite escuchar conversaciones de manera sigilosa mediante un monitor de llamadas, esta recomendación se basa en las técnicas de seguridad y prevención de anomalías en entornos hostiles.
- Se mejoró el uso de la memoria del equipo, la política de ahorro hace que exista un re-potenciamiento del sistema en momentos críticos cuando sea necesario el uso de mayor cantidad de recursos.
- Compatibilidad entre clientes SIP e *Inter Asterisk eXchange (IAX)*, en las mejoras se adicionan las transferencias de llamadas con recursos de tiempo ilimitado permitiéndoles hacer parqueo de llamadas mientras gestionan las transferencias hacia otros usuarios dela red.

- Las capacidades para la transmisión de audio y video entre las terminales que mantienen el control de las llamadas han mejorado en un 100% debido a la inclusión de protocolo IAX2, el cual concibe la idea de generar comunicaciones sin tener que pasar por el servidor.
- Se permite programar eventos mientras se está escuchando una conversación o mientras se reproduce archivos con extensión *Global System for Mobile (GSM)* o *WAVEform audio format (WAV)*.
- Compatibilidad para la reutilización de terminales Cisco para la agregación y registro de los dispositivos en el servidor.
- Se permite controlar los datos y el tráfico de la red a través de un monitor de red basado en la utilización del protocolo *Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP)*, esta práctica se la implementa con un método de control en los registros asociados a las llamadas entrantes y salientes, así como a la observación directa del comportamiento de la red en base al nivel de tráfico que se genere en la misma.
- Se aplica una técnica con el nombre de transparencia de protocolos, esta modalidad funciona una vez que se procese un CODEC que no esté especificado en la pila de CODEC soportados, para ello se aplica una regla llamada *passthrougt* en modo *canreinvite = yes* haciendo que Asterisk reinvite a los clientes a usar dispositivos diferentes en caso de ser necesario.
- Se incluye entre las mejoras un nuevo mecanismo de *Interactive Voice Response (IVR)* el cual tiene la función de ingresar la voz para lograr un mayor control de reconocimiento a la vez que se puede seleccionar opciones del menú de configuración o en su defecto parametrizar el sistema por medio de la reproducción de texto a voz obteniendo una interacción más dinámica entre el sistema y el usuario.

### 3.6 Requisitos del sistema

En términos generales dependen del tamaño de la central telefónica y de la envergadura del proyecto como tal; en base a que entra en juego factores técnicos, económicos, experiencia pericia del integrador, infraestructura y demás elementos que se deberán dilucidar según los distintos escenarios donde se requiera implementar una solución de voz y datos o solo de voz.

En lo que respecta al hardware se puede iniciar con los parámetros mínimos considerados para un funcionamiento adecuado de la central, así como integrar las características adicionales para una implementación más robusta que soporte un entorno con mayores exigencias de trabajo.

Los atributos mínimos consideradas son las siguientes:

- Equipo con procesador Pentium o *Advanced Micro Devices (AMD)*, en memoria un mínimo de 128MB en RAM, 4 GB de espacio en disco duro para el despliegue de archivos de instalación y configuración, tarjeta de red de 100 Mbps, unidad de lectura de CD-ROM, monitor, mouse y teclado cabe indicar que estas características aplican para las primeras versiones de Asterisk.

En lo que respecta a las versiones actuales los requisitos del sistema han ido cambiando de acuerdo a las exigencias de desempeño y rendimiento de las soluciones de voz-datos existentes. Para ello se considera fundamental que la central posea particularidades como las que se detallan a continuación:

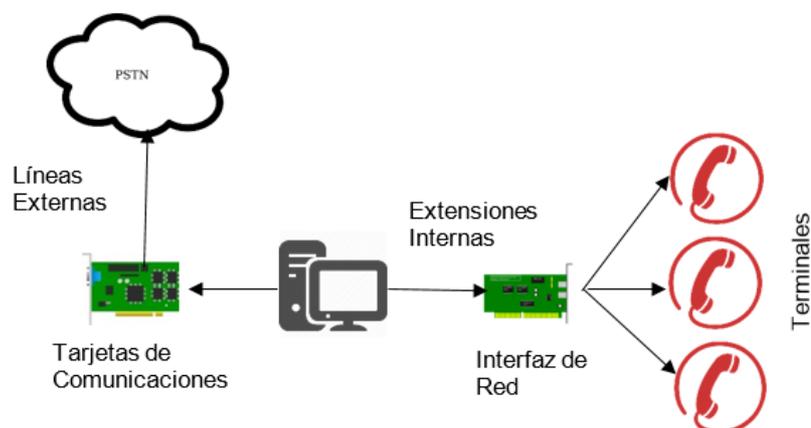
- En Software la última versión de Asterisk incluyendo un diagrama de la solución que se desea ejecutar en la red debido a que va de la mano con la arquitectura del hardware en la que se desea instalar el software.
- Hardware, se precisa de un procesador basado en hyper trident que contenga la posibilidad de administrar varios núcleos con una velocidad de reloj y sincronía mínimo 1.8 Ghz y máximo 4.1 Ghz, memoria ram minimo 1 GB y máximo 32 GB, espacio en disco duro de mínimo 500 GB y un máximo de 1 TB o un arreglo de disco de 8 TB según sea el propósito de la implementación, tarjetas de red independientes que toleren comunicaciones a Gigabit, puertos USB 2.0/3.0 y conexiones HDMI, monitor, mouse teclado, lectora de DVD.

- Otro parámetro que se debe tomar en cuenta son las comunicaciones simultáneas, convergentes y recurrentes para ello los creadores de Asterisk proponen que los equipos deben considerar la opción de administrar comunicaciones mediante el CODEC adecuado, para eso es importante que la velocidad del procesador y la capacidad de memoria sean paralelas; por ejemplo, un equipo con un procesador de 1.8GHz y GB de RAM soporta hasta 60 llamadas concurrentes codificando con el estándar G.729

En tanto a las características de los equipos estas varían cada cierto tiempo debido al constante cambio de la tecnología, un ejemplo de ello es la evolución en las necesidades técnicas de instalación de Asterisk desde sus inicios hasta la actualidad; en consecuencia, el conjunto que forma la unión del servidor y el sistema instalados toma el nombre de central telefónica o central IP; es así que se da origen a las comunicaciones unificadas en la red de datos dotándola con la capacidad de administrar voz.

Se recomienda mantener un margen de amplitud con relación a los requisitos del sistema para poder garantizar el funcionamiento y en caso de ser necesario la ampliación de algún parámetro de instalación, configuración o implementación estos aspectos se encuentren cubiertos de tal forma que los imprevistos no impidan la culminación del proyecto.

Por lo general en la mayoría de las redes de datos se suele utilizar como central telefónica una PC a la cual se agregan las tarjetas de comunicación para enlazar a la central con las líneas digitales o analógicas, de igual forma es necesario que el equipo cuente con una interfaz de red la misma que se necesita para conectar las terminales con el servidor o central, como se detalla mediante la *Figura 3.2*.



**Figura 3. 2** Conceptualización de las comunicaciones a través de Asterisk.

### 3.7 Funcionalidades de Asterisk

Las funcionalidades que provee en la era actual corresponden a un proyecto que mejora desde cualquier punto de vista las comunicaciones digitales y digitales-analógicas; rediseñando por completo todos los conceptos y mecanismo necesarios para alcanzar un óptimo proceso de integración con ambientes multitareas, de esta premisa se desprenden operaciones que relativamente facilitan la asistencia, uso, administración e integración de la central en un Call Center o en una oficina con múltiples llamadas concurrentes, cuando el sistema identifica una llamada entrante asigna de manera automática una contestación sin necesidad que la operadora se encuentre presente físicamente; este tipo de funciones están diseñadas para empresas, lugares de trabajo donde se reciben un rango elevado de llamadas o que en su medida para sitios que posean el personal necesario para administrar un alto tráfico de llamadas entrantes.

El funcionamiento se desarrolla de la siguiente manera: la central detecta e identifica la llamada que ingresa por el canal recurrente, luego se encarga de encaminar las llamadas a extensiones específicas proveyendo el acceso de manera inmediata a los recursos de la plataforma entre ellas mensajes, transferencias de llamadas sean de manera atendidas o desatendidas; se define como transferencias atendidas al método usual que requiere de una persona que tome la llamada y posteriormente el usuario transfiere o encamina la llamada

recibida mediante la funcionalidad correspondiente hacia la extensión de destino, en el caso que no haya nadie para contestar la llamada transferida a una extensión remota el sistema que por defecto retornará la llamada en espera hacia la operadora a la expectativa de una posible solución; durante este proceso de transferencia el sistema colocará en el canal de audio una melodía que sirve para tono de espera mientras el usuario aguarda que su requisito sea atendido; mientras que la transferencia desatendida de llamadas es el método que permite transferir una llamada entrante sin establecer una comunicación previa con la extensión a la cual se desea transferir la llamada, para ello es necesario realizar la parametrización del sistema de tal forma que obedezca las instrucciones que haya definido el administrador de red. En el ingreso de una llamada a la central el usuario escucha las instrucciones que la central le da a través de un asistente automático y de esa forma se establece una transferencia desatendida.

También se agrega la funcionalidad de no molestar; esta función permite a los usuarios de la red de telefonía IP o de VoIP configurar sus terminales para que en un periodo de tiempo no reciban llamadas y de esta forma las llamadas entrantes a esa extensión o dispositivos serán desviadas de forma instantánea hacia el buzón de correos de voz.

Otra funcionalidad presente en Asterisk es el parqueo de llamadas, esta función permite a los usuarios recibir llamadas y según las circunstancias en las que se reciban las llamadas el usuario puede colocarla en modo entrante o de parqueo, el modo parqueo consiste en tomar una llamada y colocarla en espera sin perder la conexión para luego recibir y atender la llamada desde otra extensión o dispositivo en algún otro punto distante de la red.

Asterisk ha incorporado una mejor en la contestación de una llamada entrante desde una extensión remota, con esto se consigue disminuir los tiempos de respuesta de las operadoras y así descongestionar la red telefónica, esta particularidad permite capturar la llamada entrante a través de un código de acceso previamente definido por el administrador de la red a cada grupo de usuarios de tal forma que entre ellos puedan receptar las llamadas cuando la persona de la extensión direccionada no se encuentre en su puesto de trabajo.

Los procesos de monitoreo y grabación de llamadas se vuelven más sencillo en cuestiones de operatividad-desarrollo de las rutinas informáticas, gracias a que estas opciones fueron pensadas para facilitar el ambiente de trabajo en el sector financiero, bursátil, bancario, industria y demás áreas en sectores estratégicos que necesiten hacer uso de las grabaciones previo al comunicado que la operadora indica antes de iniciar la conversación en efectos de auditoría informática; tal característica permite ejecutar el seguimiento a cada una de las llamadas telefónicas realizadas en un determinado tiempo, este hecho se aplica para fines de control de calidad en el trabajo que desarrollan a diario los operadores telefónicos, los agentes de ventas y las empresas que realizan la recuperación de cartera vencida.

Como una herramienta adicional entre las capacidades de Asterisk, se encuentra la opción de grabar conversaciones en forma aleatoria o previamente programada, en este caso las grabaciones se almacenan en el disco duro del servidor para su posterior revisión.

Otra cualidad que forma parte de sus funciones es el buzón de mensajes de voz o comúnmente llamado Voicemail, esta opción se activa en el instante que ingresa una llamada externa y en su momento esta no fue contestada; inmediatamente se acciona el buzón de mensajes el mismo que va guiando a la persona que se encuentra realizando la llamada mediante las instrucciones para que deje el mensaje siendo grabado en la central, para luego ser escuchado por el destinatario; por lo general cada usuario tiene desactivada tal opción en sus extensiones dependiendo de las configuraciones que se hayan efectuado en la red de telefonía.

Las conferencias realizadas mediante Asterisk, por defecto tienen asociado un espacio virtual dentro de la central en el cual solo acude la o las extensiones que desean participar de una reunión a nivel multiusuarios e incluso este tipo de reuniones se las puede hacer con llamadas externas a través del método de transferencia de llamadas; los espacios virtuales que se definen para las conferencias están asociados al mismo número de la extensión al cual se le asigna un dígito en especial para acceder a ese espacio reservado, por ejemplo: si la

extensión 100 desea ingresar a una conferencia y el administrador de red asignó el dígito 9 para acceder a la función, en ese caso el usuario deberá marcar desde su extensión el número "9100" y de esa forma se encontrará dentro de la conferencia, se aplica igual para el resto de usuarios que serán invitados a la reunión; si se desea establecer una conferencia incluyendo una llamada externa, en el momento que esté atendiendo dicha llamada, haga una transferencia desatendida a la extensión 8101; al usuario que se envió al cuarto de conferencias le será indicado mediante un mensaje que es el único usuario en el salón de conferencias, ahora dicho usuario debe discar en su teléfono el número del salón de conferencias e indicar al resto de participantes que ingresen al mismo salón.

El reporte de números marcados o el registro de detalle de llamadas es una actividad de Asterisk que genera el *CDRs* del término en inglés (*Call Detail Records*) alimentándose en una base de datos, donde se guardan todos detalles concernientes a las llamadas; el reporte consiste en los siguientes puntos:

- Extensión que más uso ha hecho de las llamadas.
- La cantidad de llamadas por extensiones.
- Duración de cada llamada.
- Puerto que fue utilizado para la llamada.
- Cantidad de llamadas que fueron contestadas.
- Cantidad de llamadas que no fueron contestadas.
- La cantidad de llamadas que fueron desviadas a otra extensión.
- La cantidad de conferencias establecidas

Otra noción son las colas de atención a las llamadas en espera; esta característica permite que un ilimitado número de llamantes puedan permanecer en estado de espera hasta que un operador tome su llamada y asista sus inquietudes o requisitos, esta facilidad le permite proveer calidad de servicio a los clientes-usuarios de la red asegurando que en durante la asistencia el llamante tenga la oportunidad de ser atendido en tiempo real, adicionalmente las empresas

suelen utilizar este medio para dar conocer nuevos productos, promociones especiales, ofertas o simplemente colocar el spot publicitario de la compañía mientras se espera en la línea para ser atendido.

La llamada en espera es otra bondad que posee Asterisk, esta permite que mientras el operador se encuentre atendiendo una llamada al mismo tiempo pueda recibir otra llamada entrante y atenderla sin perder la primera llamada; es decir coloca en modo espera la primera llamada dejándola en un espacio reservado con una melodía de fondo hasta que el operador se haya desocupado para retomar la llamada en espera y concluir su proceso de atención. Particularmente esta opción en la mayoría de las centrales telefónicas suelen afectar las comunicaciones debido al estrés que puede producir en los usuarios el hecho de estar en espera durante poco o mucho tiempo según qué tan ocupado se encuentre el sistema.

El identificador de llamadas es una función que se encuentra presente desde los inicios de Asterisk; este proceso se efectúa durante el establecimiento de la llamada a través de las señales de ring, esta función es más práctica en la comunicación interna (entre extensiones de la misma red), sin embargo, a nivel de llamadas externas por medio de la red de telefonía pública quien gestiona este tipo de servicio es el proveedor o la empresa de telefonía PSTN. Otra opción útil al momento de identificar posibles eventos o situaciones anómalas en la red es el bloqueo del identificador de llamadas, esta característica previene que alguien con identificador de llamante visualice el número desde el que se realiza la llamada, esta facilidad de ocultar el ID puede ser completa o selectiva, cabe indicar que no todas las redes de telefonía pública soportan esta característica esto más depende del tipo de infraestructura que se posea; no obstante en Asterisk esta característica también posibilita el bloqueo de una llamada entrante en función del identificador, esta medida fue ideada para evitar ciertos niveles de contratiempos relacionados a contactos no deseados.

El envío y recepción de fax es otra característica que incluye Asterisk, permite a través de su configuración detectar cuando un usuario externo o interno desee realizar el envío o recepción de un fax; en el caso de querer enviar un documento

vía fax, la central lo asistirá de manera automática o en algunos casos se encuentran configuradas para que el usuario digite el número del fax al que se desea enviar el documento y luego de un breve intervalo de tiempo que tarda en establecer la conexión estará listo el canal para ser enviado el documento, en este caso Asterisk detecta de forma automática cuando un llamante se encuentra en el intento de envío de fax de tal forma que la central parametriza el medio para la respectiva recepción del documento; como valor agregado una vez que recibió el documento de manera digitalizada tiene la opción de poder enviar el mismo documento por correo electrónico con la diferencia que es considerado como un archivo siendo almacenado en la base de datos. El listado interactivo del directorio de extensiones que se hayan configurado en la central es una particularidad de Asterisk; para tal efecto la central IP puede almacenar en su base de datos todo el directorio telefónico del personal de la empresa los nombres, apellidos y las extensiones de los usuarios de la red de tal forma que el acceso o la búsqueda se hace más fácil, con solo digitar las primeras cuatro letras del nombre, apellido o directamente los números de la extensión se visualiza la información completa de dicho usuario, en todo caso son varias las alternativas que se proporcionan en el caso de no conocer la extensión del destinatario.

Los *IVR* del término en inglés *Interactive Voice Response* o su traducción al español Respuesta de voz interactiva consiste en un sistema telefónico con la capacidad de recibir una llamada entrante y a la vez interactuar con el ser humano a través del reconocimiento de respuestas simples asociadas a grabaciones específicas para este tipo de casos; los *IVR* ofrecen a las centrales un mayor servicio logrando distribuir las llamadas y demás servicios a través de un menú el mismo que reduce la congestión en la atención inmediata.

Por último está la función de encender y apagar al Asterisk por medio de una propiedad que es administrada directamente a través de su código fuente, este proceso lee una cadena de parámetros que se ejecutan mediante una rutina de programación establecida para tal efecto; cabe indicar que esto es posible debido al fusionamiento del software de base con el sistema operativo, debido a que la rutina contiene palabras reservado o órdenes específicos que le indican al

sistema que antes de apagar el equipo o en su defecto apagar el sistema como tal primero es necesario detener los servicios relacionados a la solución de VoIP y luego proceder con el resto, de esta forma se garantiza la integridad del sistema frente a procedimientos de encendido-apagado.

## CAPÍTULO 4

### 4. COMUNICACIONES UNIFICADAS CON ELASTIX

En la gestión de las comunicaciones es importante elegir con perspicacia el sistema operativo que la asista, en base a ello definir qué solución es la más indicada para compaginar todas las características del proyecto; además que sea idónea para extraer todo el potencial de la central a la vez que su rendimiento está justificado por su costo dentro de del proyecto a implementar.

#### 4.1 Conceptualización de Elastix

Elastix es un software de código abierto para el establecimiento comunicaciones unificadas. Pensando en este concepto el objetivo de Elastix es el de incorporar en una única solución todos los medios y alternativas de comunicación existentes en el ámbito empresarial [13].

Es una solución para telefonía IP y VoIP basada en código abierto la misma que tienes sus orígenes como una aplicación diseñada para administrar reportes de Asterisk; posteriormente sus desarrolladores observaron el potencial de la aplicación llevándola a niveles más avanzados de programación y control en comunicaciones.

Hoy en día Elastix se establece en el medio por una compañía ecuatoriana llamada Palo Santo Solutions, dicho software fue presentado en marzo del 2006 como una interfaz web para mostrar registros detallados de las llamadas que se realizaban en la central Asterisk; luego en diciembre del mismo año se realizó el lanzamiento de la solución a manera de conjunto anexando varias herramientas administrables de gran valor e interés bajo una misma interfaz Web que destacó por su versatilidad y flexibilidad en el acoplamiento a los entornos de trabajo.

Desde entonces su distribución ha evolucionado progresivamente denotando mayores potencialidades que lo caracterizan como la solución de telefonía IP y VoIP preferida en el mercado informático; Elastix estuvo nominada en varias categorías de los premios *Community Choice Awards (CCA)* de SourceForge

siendo la herramienta más seleccionada por los profesionales de la Sociedad en las ciencias informáticas.

La distribución en la que se despliega Elastix está basada en el sistema operativo CentOS, que por herencia mantiene la compatibilidad binaria con el sistema operativo Red Hat Enterprise Linux versión 4; sin embargo entre el preámbulo y la popularidad que obtuvo dicho software en la última década se originaron varios intentos de compra por parte de otros fabricantes de soluciones empresariales siendo así que el 6 de diciembre de 2016 se anuncia la compra del proyecto por parte de la empresa 3CX quien a su vez ha desarrollado un software propietario originalmente para plataformas Windows; pero en su versión Linux reemplaza todo el proyecto Elastix manteniendo únicamente el nombre, por otra parte una vez realizada la venta del proyecto a la firma internacional, la comunidad Elastix emprende un nuevo proyecto con el nombre de *Issabel* el 9 de diciembre del 2016; la idea de esta nueva incursión es de continuar bajo una licencia Open Source con el soporte y seguimiento del proyecto anterior con la premisa de concretar nuevas ideas en beneficio de la Sociedad.

#### **4.2 Características y funciones de Elastix**

Elastix es un software de distribución libre que gestiona todas las competencias requeridas de un Servidor de Comunicaciones Unificadas las mismas que se integran a través de un solo paquete de instalación; entre ellas contamos con la presencia de una solución diseñada para el despliegue de VoIP, Fax, Mensajería Instantánea, Correo Electrónico y un sistema de colaboración en línea, al unir todas estas características-funcionalidades se obtiene un Servidor PBX con todas las bondades necesarias para montar un proyecto de telefonía a menor o mayor escala.

Para este propósito Elastix se desarrolla sobre cuatro pilares fundamentales para alcanzar su funcionalidad y de esta manera dotar a la PBX con la robustez respectiva para el rendimiento deseado; las fortalezas de Elastix provienen de las siguientes fuentes:

- Asterisk, de esta solución se obtiene la función para establecer la PBX.

- Hylafax, es un software que permite enviar y recibir fax, tiene una arquitectura basada en cliente-servidor lo cual facilita el uso de los canales de envío o recepción desde cualquier punto de la red.
- Openfire, anteriormente conocido como Wildfire y Jive Messenger; esta solución es un sistema de mensajería instantánea, construido en lenguaje de programación java; utiliza el *Protocolo Extensible de Mensajería y Comunicación de Presencia (XMPP)*, anteriormente llamado protocolo Jabber, tal estándar realiza el intercambio de mensajes basado en *Standard Generalized Markup Language (XML)*; a más de ser distribuido bajo código abierto; la solución en general permite administrar tanto a los usuarios como sus comunicaciones compartiendo archivos, mensajes personales, interpersonales, difusiones de mensajes tipo broadcast incluye una función de auditoría de mensajes.
- Postfix es un sistema operativo para servidores de correo electrónico de tipo open source o código abierto escrito en lenguaje de programación C; permite implementar las técnicas necesarias para lograr el encaminamiento y el envío de los correos electrónicos a los diferentes destinatarios a través de la red, nace como una respuesta frente a Sendmail siendo una versión diferente-liviana en el consumo de los recursos.
- Elastix de manera intrínseca contiene un agente de transporte para el envío y recepción de mensajes de correos, texto vía instantánea; también se adicionan otras particularidades que hacen que el proyecto se torna interesante al momento de emplearlo en las redes de comunicaciones mediante sus funciones colaborativas las mismas que se enmarcan en los cuatro ejes enunciados anteriormente.
- Marcación predictiva, esta funcionalidad es la que permite a la central realizar marcaciones automáticas a los clientes registrados en la base de datos y en el instante que se establece la comunicación lo transfiere de inmediato con un agente del Call Center o Contact Center; la función está construida con un algoritmo de predicción altamente recomendado para el sector comercial, en especial para el tema de telemarketing y cobranzas o recuperación de la cartera vencida; para este proceso el sistema posee la capacidad de analizar

todo el listado de clientes, a la vez ordena, segmenta la información obtenida luego prioriza y posteriormente hace el intento de contactarlo llamando al celular; si no hay respuesta intenta al teléfono convencional, en caso de intentos fallidos el sistema envía un correo electrónico.

- Interfaz web, esta función es el medio de comunicación en modo gráfico para independizar el trabajo del administrador de la central IP debido a que está diseñada para facilitar el trabajo diario, así como las posibles implementaciones de políticas y métodos de control en la central; el uso de esta interfaz hace que para el personal técnico no sea requisito indispensable tener conocimiento de Linux o de acceso a la terminal de líneas de órdenes del equipo donde se tenga instalado Elastix. Siempre es mejor contar con la ayuda del software para estos casos debido a las ventajas que proveen las interfaces en modo gráfico gracias a que por defecto se adaptan a las necesidades de los usuarios.
- *Private Branch Exchange (PBX) IP*, concretamente es la principal función de Elastix, esta especialidad la hereda del código base que fue tomado de Asterisk; código al cual se le hicieron modificaciones orientadas a simplificar el proceso de las comunicaciones a través de las redes de datos; obteniendo mayor rendimiento en la aplicación de Telefonía IP y VoIP.
- Correo electrónico un servicio que consiente en el intercambio de mensajes a través del sistema de comunicaciones desde la central o servidor PBX hacia cualquier destino dentro de la red local o fuera de la red local en el caso de estar conectado al internet; se encuentra acoplada a la solución de telefonía con el objetivo de facilitar el proceso de enviar y recibir múltiples mensajes a los destinatarios de la red; su facilidad de uso así como la rapidez y el abaratamiento en el costo de implementación ha sido uno de los factores que más ha colaborado en las preferencias tanto de los usuarios como de la comunidad en general.
- Mensajería instantánea de Elastix es una función que permite establecer una comunicación basada en texto en tiempo real entre dos o más personas a través de un aplicativo ya sea en ambiente de escritorio, Web o móvil; a esta capacidad se la dotó con la ventaja de poder agregar a más de las

conversaciones tipo chat cuenta también con transferencia de archivos, hipervínculos, VoIP o chat de vídeo. Otra ventaja que posee en la actualidad el uso de esta funcionalidad es soportada en dispositivos conectados a Internet y a la red celular o red de datos móviles (3G, 4G, LTE) sin importar la distancia que exista entre los dos (o más) dispositivos conectados.

En los últimos años Elastix ha liberado su última distribución del software la cual lleva el nombre de Elastix 5 bajo el dominio de su nueva propietaria 3CX, esta nueva distribución hace el despliegue de las siguientes mejoras y funcionalidades:

- Descarga gratuita en formato *Universal Disk Format* (ISO) versión Linux.
- Está basado en la última versión de Debian (Jessie).
- Incluye 3CX PBX Edition gratuita.
- Función de hosting de DNS y certificados *Secure Socket Layer* (SSL).
- Video conferencia WebRTC integrada en la interfaz Web.
- Configuración automática de terminales IP para el uso local o remoto.
- Aprovisiona automáticamente las troncales SIP más utilizadas.
- Soporte para Pasarelas VoIP Patton, Beronet & Welltech.
- Soporte para Softphones de Android e *Iphone Operative System* (iOS).
- Comunicaciones Unificadas para voz, fax, correo electrónico, chat mensajería instantánea y conferencia.
- Cliente para Mac y Windows.
- Fácil de Instalar, Administrar y Actualizar.
- Failover incorporado, respaldos y restauración.
- Configuración robusta de fábrica con mecanismos de autodefensa contra hackeos de tipo SIP.

Las principales ventajas según Quarea ITC Management & Consulting se resumen en la *Figura 4.1* [13].

Principales ventajas	
<b>Funcionalidad</b>	Asterisk dispone de todas las funcionalidades de las grandes centralitas propietarias (Cisco, Avaya, Alcatel, Siemens, etc). Desde las más básicas (desvios, capturas, transferencias, multi-conferencias, ...) hasta las más avanzadas (Buzones de voz, IVR, CTI, ACD...).
<b>Escalabilidad</b>	El sistema puede dar servicio desde 10 usuarios en una sede de una pequeña empresa, hasta 10.000 de una multinacional repartidos en múltiples sedes.
<b>Competitividad en coste</b>	No solo por ser un sistema de código abierto ( <i>Open Source</i> ) sino gracias a su arquitectura hardware: utiliza plataforma servidor estándar (de propósito no específico) y tarjetas PCI para los interfaces de telefonía, que por la competencia del mercado se han ido abaratando progresivamente.
<b>Interoperabilidad y Flexibilidad</b>	Asterisk ha incorporado la mayoría de estándares de telefonía del mercado, tanto los tradicionales (TDM) con el soporte de puertos de interfaz analógicos (FXS y FXO) y RDSI (básicos y primarios), como los de telefonía IP (SIP, H.323, MGCP, SCCP/Skinny). Eso le permite conectarse a las redes públicas de telefonía tradicional e integrarse fácilmente con centralitas tradicionales (no IP) y otras centralitas IP.

**Figura 4. 1** Soluciones Asterisk de Centralita IP

### 4.3 Licenciamiento en Elastix

Se comercializa bajo licenciamiento *Licencia Pública General, versión 2 (GLP v2)* lo que significa que se lo puede utilizar para uso corporativo o personal; su campo de aplicación se sujeta a las condiciones descrita en su patente; la Licencia Pública General destina a garantizar la libertad de compartir-modificar el software libre garantizando que sea gratuito a todos los usuarios que lo requieran; por lo tanto, no tiene ningún costo por su uso y/o distribución.

Sin embargo, los creadores de Elastix con el objetivo de mejorar su rentabilidad y a su vez potenciar su situación operativa crearon un nuevo segmento basado en una nueva regla de negocios, para ello fue necesario crear un nuevo producto dando origen a *Elastix Business Edition (EBE)*; esta es la versión comercial del software la misma que está dirigida al incremento de la productividad a través de la parametrización e integración de Elastix comercial con todos los sistemas existentes en la empresa donde se desee implementar la solución de telefonía IP y VoIP. Esta versión con licenciamiento comercial ejecuta un contrato que incluye

soporte-actualizaciones durante un año con capacidad mínima para 25 usuarios; a mayor cantidad de abonados los costos y términos del licenciamiento varían según las negociaciones efectuadas entre ambas partes.

Considerando las aplicaciones del proyecto es necesario establecer claramente las diferencias entre la versión open source y la versión comercial; ejemplo de ello son las características que posee la versión de pago.

- Web Phone y soporte para RTC en ambiente web o en aplicaciones móviles desarrolladas para el cliente con capacidades de comunicaciones en tiempo real ofrece la ventaja de incorporar y sincronizarse con plataformas como MailChimp, Google Contact entre otras.
- Live Chat es solución multiusuario para atención al cliente en vivo y se encuentra embebida en la interfaz web la misma que contiene soporte para voz, además administra geolocalización a través de las conexiones IP.
- Monitoreo de la calidad de servicio, se aplica a cada terminal telefónico facilitando al administrador que de acuerdo a su diagnóstico pueda asegurar la calidad en la conversión de voz es la óptima para los objetivos que persigue la empresa.
- Acceso a un mayor rango de dispositivos gracias al Endpoint Configurator de Elastix, esta característica permite modificar la configuración actual de un dispositivo que haya sido previamente desactivado y a su vez generar o compilar nuevamente sus archivos de configuración.
- Monitoreo en vivo de conexiones, esta propiedad permite al administrador de red o administrador de la central IP detectar los posibles intentos de registros no autorizados a la central y hacer el envío de alertas inmediatas de conexiones desde una ubicación o controlada.

Posteriormente Elastix fue vendida a 3CX cambiando totalmente su panorama sufriendo un rediseño en todos los términos del licenciamiento sustituyendo a Elastix en su totalidad por el proyecto 3CX, actualmente se mantiene el nombre de Elastix, pero el software que se distribuye es el software 3CX; el tema del licenciamiento comercial trata los siguientes puntos:

- Licencia NFR: es una licencia gratuita se otorga por ser aliado estratégico de su propio software 3CX, en esta licencia los usuarios pueden recibir mínimo 4

llamadas simultáneas y un máximo de 32 llamadas; esta parte de colaboración depende en gran medida de la estabilidad del software cliente para realizar las llamadas.

- Licencia PBX Edition: es una licencia gratuita de tipo personal que posee capacidades básicas de telefonía; para hacer uso de ella es necesario registrarse en el sistema de descargas para su respectiva generación; posterior a este proceso el sistema envía la licencia al correo electrónico como una forma de validar la autenticidad del usuario registrado.
- Licencia Standard Edition: es una licencia estándar de tipo comercial; permite realizar un mínimo de 4 llamadas simultáneas y un máximo de 1024 llamadas, esta versión no dispone de todas las opciones-capacidades de telefonía IP.
- Licencia Pro Edition: licencia de tipo comercial; en ella se pueden realizar desde 4 llamadas simultáneas hasta 1024 llamadas simultáneas; cuenta con la activación de todas las capacidades de telefonía excepto el Failover integrado con una única licencia.
- Failover: se define como un método encargado del respaldo en el funcionamiento del sistema, esta función entra en ejecución cuando se produce un error en la conmutación, servicios de red, base de datos, de tal forma que automáticamente un sistema secundario entra en funcionamiento para no interrumpir las comunicaciones, su objetivo es hacer los sistemas más tolerantes a fallos y son parte integral en ambientes críticos.
- Licencia Enterprise Edition: licencia de uso netamente comercial y dispone de todas funcionalidades sin ningún tipo de restricción del software incluido él failover; se pueden realizar mínimo 4 llamadas simultáneas hasta un máximo de 1024 llamadas.

#### **4.4 Linux para administradores de Elastix**

Su asignación está ensamblada bajo el kernel y sistema de archivos de Linux CentOS; al estar desarrollada mediante un sistema operativo open source como base cuenta con varias ventajas, una de las más destacables la administración-configuración de todas las funciones del servidor por interfaz web.

Sin embargo, también existe la posibilidad de realizar todas las gestiones de administración del servidor a través del modo texto o interfaz line de órdenes (CLI); debido a ello es relevante para su aplicación conocer todos los fundamentos de gestión de un servidor Linux, así como el uso de las órdenes de uso común y los códigos utilizados en la operatividad del mismo.

*Linux* es un núcleo de programación multiusuario-multitarea de libre distribución lo cual da forma a un sistema operativo muy estable, esta herramienta se basa en el sistema operativo Unix. Su licencia es GPL v2 estando disponible para una extensa comunidad de desarrolladores en todo el Mundo.

Cada variante del software tiene propósitos específicos o generales; estas *distribuciones* tienen un único objetivo el cual consiste en ofrecer solución a las necesidades de un determinado grupo de usuarios o comunidades. En la actualidad varias de estas *distros* son reconocidas por su utilización en supercomputadoras, servidores, consolas de videojuegos, portátiles, pc de escritorio, telefonía celular y demás equipos de comunicación o telecomunicaciones ocupando un segmento muy importante del mercado.

Por esta razón es muy importante que los administradores de Elastix adquieran los conocimientos necesarios para una gestión correcta que idealice la ejecución de los diferentes proyectos que se puedan albergar en el servidor, para dicho cometido es requerido organizar el sistema principal de archivos garantizando la robustez e interoperabilidad del sistema operativo.

De esta forma las aplicaciones que funcionan sobre la plataforma informática pueden predecir con exactitud la ubicación de los archivos para el consumo y su correcto funcionamiento, paralelamente a través de los permisos que el administrador haya establecido en el servidor los programas escribirán, modificarán y harán uso de aquellos archivos que sean necesarios con la respectiva tabulación dando paso a que las demás aplicaciones puedan comunicarse entre sí; con ello se minimiza los posibles conflictos internos entre aplicaciones.

Todo administrador de Linux debe tener en cuenta que la estructura de datos se encuentra ubicada en las carpetas o directorios a alojados en un disco duro, este

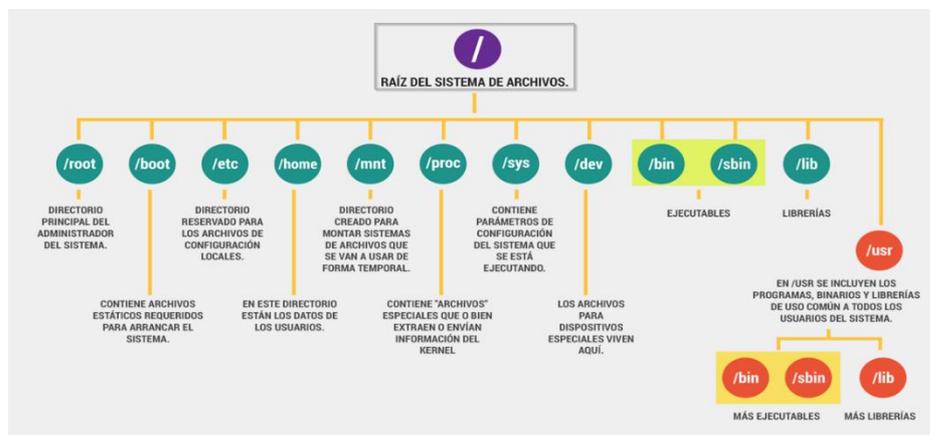
tipo de organización toma el nombre de directorio principal y se le da un mejor tratamiento por tener niveles de permisos jerárquicos; este detalle es uno de los más importantes porque delimitan las fronteras entre lo permitido y lo prohibido dentro o fuera del servidor Elastix.

En Linux es una práctica común la aplicación-estandarización de los permisos; estas autorizaciones se destinan a los usuarios, aplicaciones, archivos, carpetas o directorios, puertos; demás elemento que convergen y se generan en el interior del sistema. Ejemplo de ello es que cada directorio o archivo tienen un esquema de permisos diferentes que se asignan según sea necesario el nivel de acceso o restricciones tales como *Lectura*, *Escritura* y *Ejecución*.

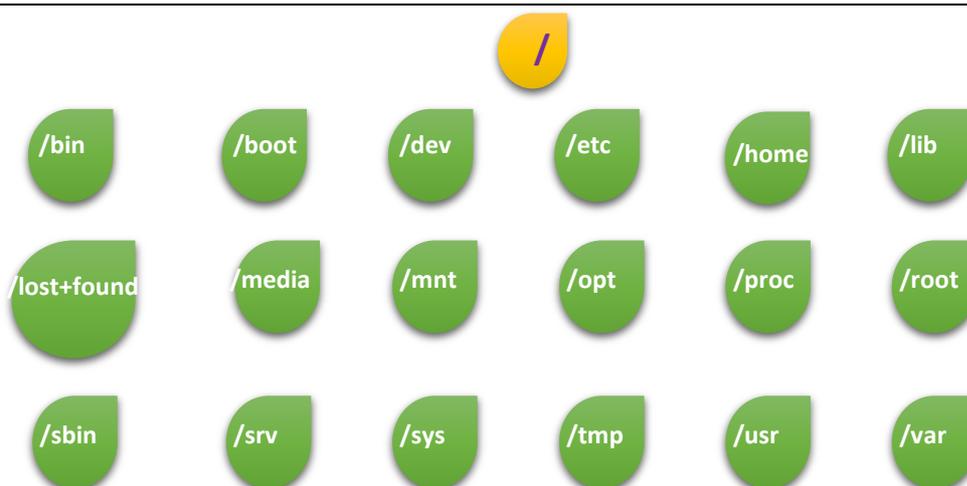
En este aspecto cabe acotar que la seguridad es un tema de gran relevancia, ayuda a mantener controlado todo el escenario de trabajo, permite frenar las posibles incidencia o intrusiones al sistema, para cumplir con este objetivo los administradores deben definir los grupos de acceso, trabajo, accesos por usuarios a los archivos, aplicaciones que compaginan con las funciones del sistema o del servidor Elastix.

El esquema del directorio principal está dado de acuerdo a la partición del disco duro, este fraccionamiento hace posible que la distribución sea como se describe a continuación a través de la *tabla 1*.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ARCHIVOS DE LINUX



## ESQUEMA GRÁFICO DEL SISTEMA DE ARCHIVOS DE LINUX



**Tabla 1** Descripción de los directorios para administrar Linux.

Consecuentemente la administración de Linux se refuerza con la destreza, soporte, uso y administración del sistema a través de su consola de órdenes; es aconsejable emplear este modo de manejo puesto que evita errores que suelen presentarse muy a menudo en el modo gráfico.

La pericia que se gana al utilizar la consola de caracteres agrega mayor seguridad al sistema gracias a que evita la inclusión y visualización de material

nocivo que comúnmente ofrece una vía para la contaminación por virus u otras amenazas frecuentes en los equipos informáticos.

Órdenes que más se utilizan son los citados mediante la *tabla 2*.

Orden de Linux	Función que desempeñan
ls	Este orden lista todo el contenido de un directorio en forma general.
cd	Este orden sirve para cambiar de ubicación entre directorios.
cd..	Sirve para salir de una ubicación específica o en su defecto para regresar a un directorio anterior.
mkdir	Sirve para crear un nuevo directorio dentro del sistema de archivos de Linux.
rmdir	Sirve para eliminar un directorio en particular.
cp	Esta orden sirve para copiar un archivo
mv	Sirve para mover o trasladar un archivo o directorio hacia otra dirección dentro del sistema de archivos.
rm	Sirve para eliminar un archivo o directorio.
passwd	Esta orden ayuda a realizar el cambio de la contraseña de un usuario es especial.
cat	Esta orden muestra el contenido de un archivo
more	muestra el contenido del archivo con pausas
man / apropos	Esta orden tiene la función de proveer el soporte para la búsqueda de información de archivos u órdenes dentro del sistema Linux.
chfn	Modifica la información de un usuario que haya sido proporcionado por el orden finger.
chsh	Cambia la shell: "chsh user ubicación_de_la_shell"
finger	Visualiza la información de los usuarios
lpr	Sirve para añadir un archivo a la cola de impresión

**Tabla 2** Funciones de las principales órdenes de Linux

El sistema Linux también posee un aspecto de suma importancia como lo son las actualizaciones; a través de ellas se realiza el re-potenciamiento de la plataforma garantizando la estabilidad y reforzando la seguridad del sistema operativo, en las distribuciones basadas en CentOS se presentan de dos formas.

- RPM: Son los archivos que se los puede ejecutar de forma automática con el doble clic del mouse; esta función se asemeja a los archivos. EXE en el sistema operativo Windows).
- YUM: Esta es una funcionalidad que aporta múltiples ventajas en la tarea de actualizar e instalar aplicaciones y demás dependencias lógicas en el sistema Linux, cumple la tarea de realizar una búsqueda exhaustiva en todos los repositorios para ubicar en tiempo real la mejor paquetería que será descargada e instalada de forma automática; en la *tabla 3* se describen las sentencias esenciales de este orden.

Orden "yum"	Descripción
yum update	Actualizar TODO el sistema.
yum update nombre_paquete	Actualiza solo el paquete especificado y todas sus dependencias lógicas.
yum install nombre_paquete	Instala el paquete especificado y todas sus dependencias.

**Tabla 3** Funcionalidades de las sentencias del orden YUM.

- Los paquetes de software que vienen en Elastix están contruidos en un formato denominado RPM el mismo que es heredado de Red Hat, que a su vez toma su nombre de los siguientes parámetros: Red Hat Package Manager; con este antecedente se confirma que las instalaciones son más fáciles y sencillas en base a que durante el proceso de actualización o instalación la estructura resuelve las dependencias que sean necesarias sin causar ningún tipo de problemas.

A continuación, por medio de la *tabla 4*, se detalla el esquema del uso de los archivos RPM a través de líneas de órdenes.

Tareas en Linux	Orden
Instalación de RPM	<code>rpm -ivh archivo-paquete.rpm</code>
Actualización de un RPM	<code>rpm -Uvh archivo-paquete.rpm</code>
Eliminación de un RPM	<code>rpm -e archivo-paquete</code>
Obtener información de un archivo RPM	<code>rpm -qpi archivo-paquete.rpm</code>
Obtener un listado de todos los RPM instalados en el sistema	<code>rpm -qa</code>
Desinstalar RPM instalados en el sistema	<code>rpm -i paquete.rpm</code>
Instalar RPM y ver el progreso en el sistema	<code>rpm -e paquete.rpm</code>
Instalar o actualizar RPM	<code>rpm -iv paquete.rpm</code>
Forzar la desinstalación RPM	<code>rpm -e paquete.rpm --force</code>

**Tabla 4** Tareas ejecutables en Linux a través de órdenes en archivos RPM.

Es necesario indicar que la coexistencia entre yum-rpm se debe a que el primero permite instalar-administrar paquetería del tipo *rpm* de una forma más simple y clara. En lo que concierne al manejo de Linux como administrador es recomendable aplicar permisos para los demás usuarios que eventualmente tienen acceso sobre los archivos; por tal razón se detalla en la *tabla 5* los permisos utilizables dependiendo la distribución que se esté usando.

	Propietario	Grupo de Usuarios	Usuarios
Lectura	x	x	x
Escritura	x		
Ejecución	x	x	x

**Tabla 5** Tipos de permiso según la distribución del usuario.

PERMISOS	NIVELES
-rwxr-xr-x	0123456789

**Tabla 6** Notación compuesta del despliegue de permisos.

La forma más sencilla de lograr entender dicha matriz es a través de una notación compuesta por varios caracteres; estas representaciones ayudan a simplificar la tarea en el despliegue de los permisos visualizándose en lugar de hacerlos en varias líneas, en la *tabla 6* se muestra en una sola línea a modo de ejemplo.

Donde el carácter 0 representa el tipo de archivo. Si se llena con la letra “d” significa que se trata de un directorio, la *tabla 7* esquematiza el uso de los números en dicha connotación.

Para un administrador el orden que ayuda en la visualización de los permisos que se hayan desplegado en el sistema es (ls -la); en el instante que se haga uso de este orden por medio de la consola se lograra observar los diferentes permisos que se hayan aplicado tal como se observa en la *Figura 4.2*.

DÍGITOS	FUNCIÓN
1,2,3	Estos dígitos aplican permisos de lectura, escritura y ejecución, generalmente se correlacionan con el usuario propietario del o los archivos.
4,5,6	Estos números representan los permisos de lectura, escritura y ejecución para el grupo al que pertenezca el archivo.
7,8,9	Estos dígitos indican los niveles de lectura, escritura y ejecución para los usuarios que no sean propietarios del archivo o archivos

**Tabla 7** Funciones de los dígitos en base a la connotación de permisos al usuario.

```

Last login: Fri Jun 30 23:14:49 on console
[MacBook-Pro-de-Carlos:~ carlossotov.$ ssh root@190.95.140.229
root@190.95.140.229's password:
Permission denied, please try again.
root@190.95.140.229's password:
Last failed login: Fri Jun 30 23:44:29 ECT 2017 from 58.218.198.161 on ssh:notty
There were 503843 failed login attempts since the last successful login.
Last login: Wed May 10 15:18:16 2017 from mail.babahoyo.gob.ec
[root@msn ~]# ls -la
total 68952
dr-xr-x---. 20 root root   4096 feb  3 16:40 .
dr-xr-xr-x. 17 root root   4096 feb  3 16:39 ..
-rw-----. 1 root root   1699 may 14 2015 anaconda-ks.cfg
-rw-----. 1 root root 12658 may 10 15:30 .bash_history
-rw-r--r--. 1 root root    18 dic 28 2013 .bash_logout
-rw-r--r--. 1 root root   176 dic 28 2013 .bash_profile
-rw-r--r--. 1 root root   176 dic 28 2013 .bashrc
drwx-----. 14 root root   4096 ene 23 11:20 .cache
drwxr-xr-x.  4 root root    87 ago 13 2015 .composer
drwx-----. 21 root root   4096 ene 23 11:45 .config
-rw-r--r--.  1 root root   100 dic 28 2013 .cshrc
drwx-----.  3 root root    24 may 14 2015 .dbus
drwxr-xr-x.  2 root root   4096 ene 23 11:41 Descargas
drwxr-xr-x. 10 root root   4096 oct 30 2015 Documentos
drwxr-xr-x.  2 root root    6 may 14 2015 Escritorio
-rw-----.  1 root root    16 may 14 2015 .esd_auth
drwx-----.  2 root root    94 jun  9 2015 .gnupg
-rw-----.  1 root root  5322 feb  3 16:40 .ICEauthority
drwxr-xr-x.  2 root root    6 may 14 2015 Imágenes
-rw-r--r--.  1 root root 1750 may 14 2015 initial-setup-ks.cfg
drwx-----.  3 root root    18 may 14 2015 .local
drwxr-xr-x.  4 root root    37 may 14 2015 .mozilla
drwxr-xr-x.  2 root root    6 may 14 2015 Música
-rw-----.  1 root root   103 ene 23 09:29 .mysql_history
-rw-r--r--.  1 root root 70513157 may  6 2014 openfire-3.9.3-1.i386.rpm
drwxr-----.  3 root root    18 jul 23 2015 .pkg
drwxr-xr-x.  2 root root    6 may 14 2015 Plantillas
drwxr-xr-x.  2 root root    6 may 14 2015 Público
-rw-----.  1 root root 1024 jun  8 2015 .rnd
drwx-----.  2 root root    24 may 14 2015 .ssh
drwxr-xr-x.  3 root root    61 ago 13 2015 .subversion
-rw-r--r--.  1 root root   129 dic 28 2013 .tcshrc
drwxr-xr-x.  2 root root    6 may 14 2015 Vídeos
[root@msn ~]#

```

**Figura 4. 2** Visualización de permisos con el orden ls -la, representación numérica.

Los permisos dentro de Linux forman parte primordial de su sistema de seguridad; este mecanismo funciona como una barrera entre lo permitido a cada

usuario u operario del sistema, de esta forma se evita que el gestor de archivo se corrompa o en su defecto se vea alterado por algún tipo de intrusión externa, si se da el caso sólo se verían afectados los archivos del usuario que cometiera la falta en el uso inadecuado de los parámetros de seguridad del servidor Linux.

Es por esta razón que se define el esquema de permisos tratado en la figura 4.1; ejemplo de ello es el nivel de acceso que se desea dar un usuario invitado sobre un archivo que se encuentra almacenado en el servidor. "-rwxr-xr-x" equivale a 755 que significa lo descrito en la *tabla 8*.

#	Esquema de permisos según nivel de acceso
7	Permiso máximo de lectura
5	Nivel medio de escritura o nivel controlado de escritura; significa que para hacer cambios necesitara permiso de súper usuario o root
5	Nivel medio o nivel controlado de ejecución; significa que para hacer cambios necesitara permiso de súper usuario o root

**Tabla 8** Esquemmatización de los permisos en función del nivel de acceso.

Otra utilidad que posee Linux es la utilización del orden `chmod`; esta herramienta permite cambiar los permisos asignados a un archivo o directorio de manera simple o por medio de recursividad, este término indica claramente que el orden `chmod` aplica cambios sobre un directorio incluyendo todos sus subdirectorios y archivos en general tal como se indica en la *Figura 4.3*.

`chmod 777 directorio -fR`  

  
 Permisos
 

  
 Destino
 

  
 Modificadores

**Figura 4. 3** Uso del orden `chmod` y Recursividad.

En el caso que el administrador necesite realizar cambios sobre los niveles de acceso en los archivos, se puede hacer el uso de la orden *chown* palabra reservada tiene la fortaleza de hacer cambios sobre las permisiones y derechos de propiedad de los archivos; este procedimiento es diferente al proceso que realiza *chmod* debido a que este último hace su traducción de forma numérica mientras que *chown* lo hace a través del nombre de usuario; como se demuestra en la *tabla 9*.

---

```
$ ls -la tesis-esp0l
-rw-rw-r-- 1 csoto csoto 0 2017-06-19 04:21 tesis-esp0l
$ chmod 755 tesis-esp0l
$ ls -la tesis-es0l
-rwxr-xr-x 1 csoto csoto 0 2017-06-19 04:22 tesis-esp0l
```

---

**Tabla 9** Ejemplo de cambio en los niveles de acceso a un usuario en particular.

En el ejemplo de la *tabla 10* se hace el cambio de dueño del archivo usando la orden *chown*.

---

```
# ls -la tesis-esp0l
-rwxr-xr-x 1 csoto csoto 0 2017-06-19 04:40 tesis-esp0l
# chown root.root tesis-esp0l
# ls -la tesis-esp0l
-rwxr-xr-x 1 root root 0 2017-06-19 04:42 tesis-esp0l
```

---

**Tabla 10** Secuencia necesaria para efectuar un cambio de dueño en un archivo específico.

#### 4.5 Interconexiones con Elastix

Al ser empleado como plataforma de comunicación permite realizar la interconexión entre uno o varios dispositivos sin importar si son fijos o móviles, pero la necesidad de eliminar las distancias ha llevado a la obtención de valiosos resultados en los últimos cinco años, una avance notable es la comunicación o interconexión entre centrales telefónicas o IPBX a través de las infraestructuras pública y privada; para lograr la interconexión es necesario que la red de telefonía

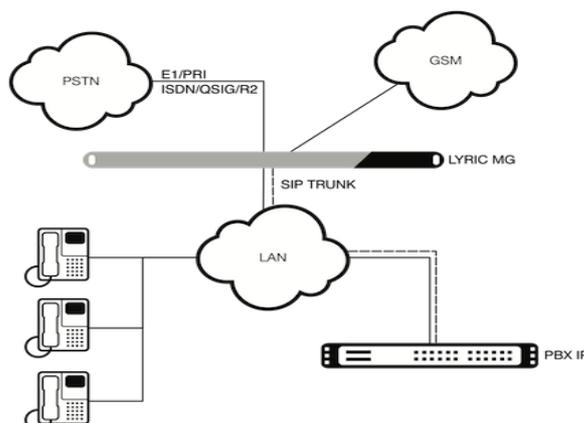
posea las condiciones necesarias o en su defecto se puede lograr una comunicación de óptima calidad mediante PSTN o vía Internet.

La mayor parte de las personas que se interesan por el estudio de las comunicaciones tienden en sus inicios a confundir los conceptos e ideas de lo que realmente se desea plasmar a través de los distintos proyectos de telecomunicaciones o telefonía en sí; pero desde hace 10 años se dio inicio la tarea de establecer y fortalecer las comunicaciones telefónicas de manera unificada, para ello era necesario definir el rol protagónico; así como las acciones a ejecutarse entre las troncales y sus rutas para lograr una conexión exitosa entre la central y sus terminales garantizando una conexión exitosa hacia las terminales de la red externa.

Es así que se establece una asociación entre los conocimientos sobre redes de datos, todo lo referente a telefonía-centrales telefónicas, esta asociación de saberes se expresa con el surgimiento de las redes definidas o controladas por software, preparando el medio para la aparición de las centrales IPBX en el mundo de las comunicaciones con el objetivo de mejorar y dotar de la fidelidad requerida a las transmisiones y/o conversaciones telefónicas en algunos caso con cierto nivel de valor agregado Correo Electrónico, Mensajería Instantánea, PBX, demás elementos que tornan interesante este tipo de soluciones.

Toda esta revolución de procesos tenía que complementarse con la integración y escalamiento hacia otras redes de comunicaciones como la PSTN haciendo posible encaminarse a través de la red pública con la facultad de conectarse con otras centrales para establecer la conexión deseada.

La interconexión entre centrales con Elastix se produce de la siguiente forma: se define como ruta al número telefónico al que se desea alcanzar a través de una llamada y se define como troncal a la interface o el canal que puede ser físico o lógico que a su vez debe estar directamente conectada a la PSTN o proveedor del servicio público de telefonía quien en su defecto proporcionará el enlace con el número telefónico marcado. En la *Figura 4.4* se detalla el esquema de una interconexión a través de un enlace primario.



**Figura 4. 4** Escenario de una PBX IP Elastix conectada a enlace primario de tipo E1.

Nótese que en la *Figura 4.4* se desarrolla la conexión de una PBX IP basada en Elastix a un Operador de Telefonía que proporciona a su vez la conexión a Internet mediante un enlace primario de tipo E1, para este escenario se cuenta con una central cuyo Pasarela está conectado a la red LAN y se ha establecido un mecanismo que conecta la central con el operador de VoIP y Telefonía por medio de un SIP trunk entre la IPBX y el Pasarela de tal forma que al proveedor le llega una trama digital la cual se conecta al puerto E1; para este ejemplo el Pasarela soporta la interconexión con un cierto número de llamadas simultáneas desde y hacia cualquier interfaz dentro de la red.

Se debe considerar que las troncales y las rutas son factores importantes para la correcta interconexión de las centrales telefónicas, de no contar con estos elementos no sería posible establecer conexión externa; por esta razón existen varios tipos de ellos en el ámbito de las telecomunicaciones; partiendo del simple hecho que las troncales (*Trunks*) son el mecanismo que permite comunicar a la IPBX Elastix con la red pública o PSTN, se define los tipos de troncales según su necesidad, por tal motivo el tipo de troncal dependerá en gran medida del tipo de servicio que provea al medio telefónico.

Tradicionalmente el servicio es distribuido por la línea de cobre o par de cobre comúnmente nombrada, aunque hoy en día se hace el despliegue a través de fibra óptica en la mayor parte del Ecuador y de Latinoamérica, esta renovación

del medio de transmisión hace posible que las redes IP soporten las comunicaciones unificadas a través de la instalación del software Elastix en un servidor el cual automáticamente después de ser configurado realizara la traducción de los servicios sobre la red propuesta. Este aspecto es altamente recomendado en escenarios de virtualización.

Las troncales se clasifican en los siguientes tipos:

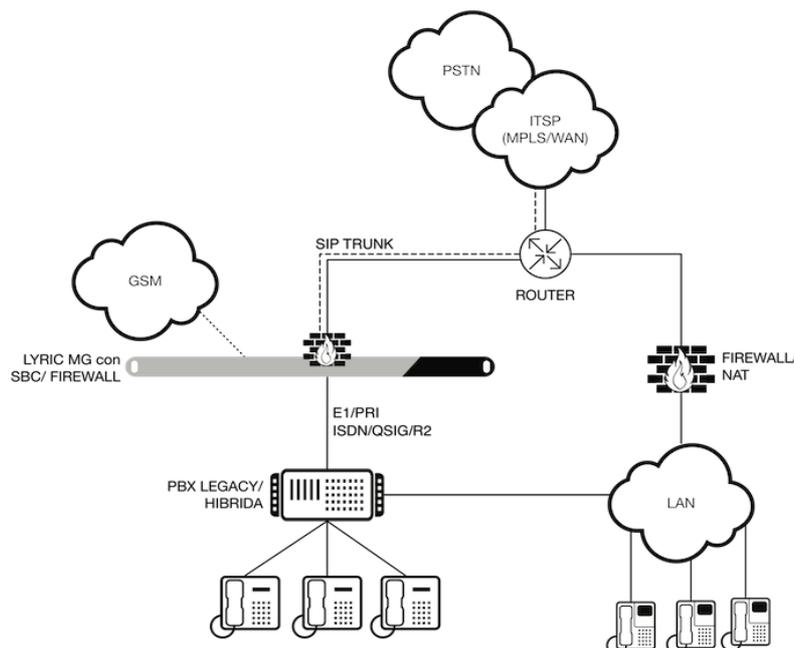
- *Trocales SIP*: en este tipo el medio para transportar la voz es IP debido a que de esta forma realiza el enlace a través de Internet, teniendo como ventaja la creación y utilización de números telefónicos virtuales o *DID* del termino en inglés "*Direct inward dialing*" (Marcación interna directa); este es un número DID con el mismo prefijo local que funciona mediante la asociación de una trocal SIP, este proceso lo realiza la operadora telefónica a través de la red de datos o de Internet. La utilidad esta troncal con el número telefónico virtual es que el tratamiento de la llamada se trata como si fuera de tipo local de tal forma que los costos por llamada no son varían sin importar la procedencia de la llamada; esta garantiza la compatibilidad y conectividad con cualquier equipo SIP, el único factor que se vería afectado es la cantidad de canales a configurar porque dependen del ancho de banda con que disponga el enlace IP.
- *Troncales IAX2*: su nombre procede del término en inglés *Inter-Asterisk eXchange protocol*, son basadas en un protocolo utilizado por Asterisk con el objetivo de administrar las conexiones de VoIP entre servidores Asterisk y entre equipos de comunicación que han implementado el protocolo en su pila de comunicaciones. Este protocolo está en su segunda versión según el RFC-5456; con la utilización de troncales gestadas en IAX2 se pretende minimizar el ancho de banda que se utiliza en las transmisiones de voz, datos y video a través de la red IP; también se aplica para establecer el enlace entre 2 o más servidores y centrales IPBX Asterisk o Elastix, una de las ventajas con mayor relevancia es que utiliza un puerto 4569 de tipo UDP para interconectar las comunicaciones con otras redes.

- *Troncales Digitales*: se define así al método de comunicación más apetecido por los proveedores del servicio telefónico; la idea principal es la de implementar un enlace el cual cumple la función de interconectar de forma simultánea todas las llamadas externas de la central por medio de la unificación de las comunicaciones; una vez realizada la concentración de la información esta automáticamente es conjugada en una señal única la misma que se encarga de transportar y transmitir a largas distancias entre centrales de manera eficaz lo que mejora la calidad del servicio a la vez que abarata costos. El medio físico que se emplea para el uso de una troncal digital es fibra óptica o radio frecuencias, aunque también es posible hacerlo por el par de cobre, generalmente estos enlaces se dan a través de conexiones E1 (2.048Mbps), T1 (1.544Mbps) y J1 (2.048Mbps); se utilizan estas conexiones debido a que su ancho de banda se ajusta al requisito de esta tecnología. Las troncales digitales también hacen uso de los números DID, estos números son configurados en el Pasarela en caso de que la central no permita hacerlo directamente es su interfaz.
- *Troncales Análogas*: se las conoce con el nombre de puertos *FXO* cuya denominación se deriva del termino en inglés *Foreing eXchange Office* (Interfaz de Central Externa), esta interfaz cumple la función de recibir la línea analógica que proviene de la PSTN, va de la mano con otra interfaz que lleva el nombre de *Foreign eXchange Subscriber (FXS)*, donde la FXO es la encargada de conectar hacia la red exterior mientras que las FXS son las encargadas de realizar la conexión interna hacia los dispositivos de telefonía, por lo general se las configura en la Pasarela en el caso que la central o el software de la central no lo permita hacer directamente sobre la interfaz. Una de las desventajas de usar una troncal analógica frente a una troncal digital es que la analógica solo permite una llamada por enlace troncal mientras que las SIP e IAX2 el límite de llamadas concurrentes son mayores dependiendo del ancho de banda que sea administrado en cada enlace.

Se ha comprobado que en un servidor Elastix pueden coexistir todos los tipos de troncales, al igual que se puede tener integrado más de un proveedor de servicio como en el caso de los Call Center; este ejemplo se aplica para diseñar rutas de menor costo, esto se logra teniendo ambientes con troncales digitales y SIP en un mismo servidor, pero para alcanzar este planteamiento es importante seleccionar correctamente el tipo de rutas que serán implementadas.

Se determinan como rutas a las reglas definidas por el administrador para indicar al servidor Elastix que troncal debe realizar las llamadas en base a un plan de marcación, a ello se adiciona el uso de bases celulares en las centrales para minimizar costo a los teléfonos móviles, para ello se crean rutas distintas con su respectivo patrón de marcado; la misma lógica se aplica para las llamadas entrantes. Existen dos tipos de rutas, las de salida y entrada:

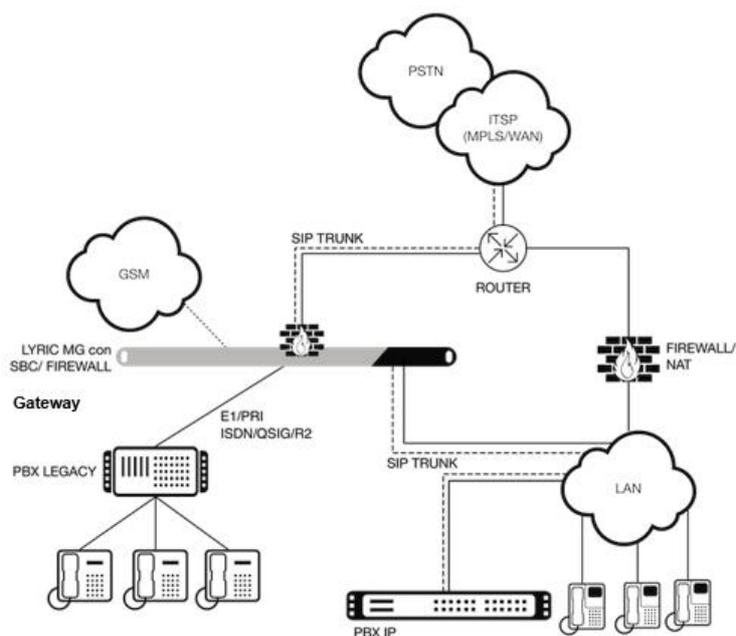
- Rutas de Salida son las reglas o plan de marcación que indica al servidor Elastix que troncal utilizar para establecer la llamada, ejemplo para números que inician con el dígito 09 se configura una troncal para móviles, de tal forma que cada vez que se genere una llamada con número "09" Elastix automáticamente hará las llamadas por esa troncal específica y así sucesivamente para cada caso especial se designará una ruta que se encargue de atender las marcaciones.
- Rutas de Entrada: mecanismo encargado de que Elastix cumpla las funciones de transferir, atender mediante operadora automática o por medio de un menú de opciones a todas las llamadas que han sido recibidas, este caso es el indicado para ser usado fuera de horas de oficina y en el caso de no contar con una físicamente con una recepcionista.



**Figura 4. 5** Esquema de una interconexión de centrales IPBX con una Central Propietaria.

Es importante saber que las troncales y rutas se complementan entre sí, de esta forma se garantiza un correcto funcionamiento del sistema telefónico, para ello se detalla en la *Figura 4.5* el comportamiento de una interconexión entre una Central IPBX basada en Elastix y una Central Propietaria. En este segundo escenario, se realiza una reutilización de la infraestructura y se hace al mismo tiempo un mejoramiento en el sistema de comunicaciones adicionando a la red una central basada en Elastix con el objetivo de fortalecer y robustecer el sistema actual; para tal efecto se utiliza un Pasarela como interfaz de conexión entre la central IP y la PBX Legacy o propietaria del cliente. La PBX debido a su estructura soporta extensiones SIP, las mismas que son registradas por el servidor principal y tratadas a través de la interfaz hacia sus destinos. En este caso la PBX agrega los equipos SIP que se encuentran conectados a la red de datos y en el instante en que se genere una llamada externa esta será dirigida a través de la troncal SIP la misma que esta implementada sobre el puerto WAN que va directamente conectado al encaminador, se agrega un firewall para la administración de rutas

en forma dinámica como un método de seguridad a ataques maliciosos; para el caso que exista un error en la entrega de datos para el establecimiento de la llamada por medio de la troncal SIP, el sistema hace la llamada por medio del GSM como un método de respaldo; dicho proceso se esquematiza en la *Figura 4.6*.

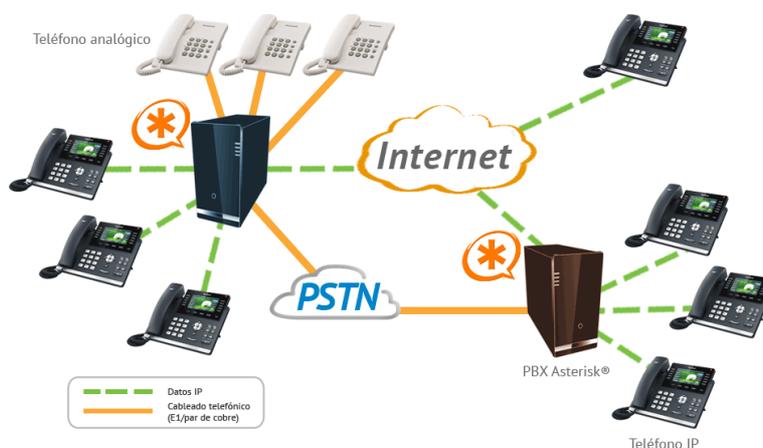


**Figura 4. 6** Integración de IPBX y una PBX Legacy/Híbrida.

En este escenario se establece una troncal SIP hacia el proveedor de Internet con la intención de estabilizar las llamadas telefónicas entrantes y salientes; esto se logra a través de un puerto de red conectado desde la IPBX hacia el puerto WAN del encaminador, luego se establece una troncal SIP directamente conectado a la red LAN y posteriormente se establece una tercera troncal SIP la misma que va dirigida a la PBX Legacy del cliente y de ahí sale una nueva conexión por medio del puerto E1 hacia el proveedor de telefonía o al GSM este último como método de respaldo.

Una de las ventajas que provee la interconexión que se realiza a través de Elastix es el ahorro y la minimización en el uso de los recursos, se optimiza el tiempo de respuesta, así como mejorar la calidad del servicio que va de la mano con el nivel de satisfacción del usuario.

Un ejemplo básico de interconexión entre centrales de Elastix tal como se muestra en la *Figura 4.7* y *4.8* donde se aprecian los casos de conexionado entre centrales.



**Figura 4.7** Caso (a) Interconexión Elastix uso de red telefónica y red de datos e Internet.



**Figura 4.8** Caso (b) Interconexión Elastix uso de red telefónica y red de datos e Internet.

Este ejemplo básico define como se puede obtener una mejor comunicación con poca inversión, solo es necesario agregar a la red un servidor o un equipo informático al cual se debe instalar Elastix y automáticamente la red obtendría un valor agregado, luego de realizar las configuraciones necesarias y adicionar las conexiones hacia la red externa se podría hacer uso de manera inmediata de las bondades de la telefonía IP y de VoIP.

En el caso a, se cuenta con dos redes telefónicas distintas, ambas se interconectan en por medio de la red pública de teléfono o PSTN y también se mantienen conectadas a través de la red de Internet; como se ha indicado anteriormente para cada conexión se debe definir una troncal y una ruta específica de tal forma que las dos centrales IPBX se puedan comunicar entre sí, la idea de conectarse al Internet es poder efectuar llamadas de larga distancia a bajo costo.

Para el caso b, las dos redes telefónicas se mantienen conectadas a través de troncales telefónicas de la PSTN, el servicio de telefonía IP se realiza internamente lo que ocasiona que las llamadas tengan un costo adicional por su utilización.

#### **4.6 Calidad de Voz**

Es definido como la garantía de transmitir o recibir el audio de la voz humana desde el emisor hasta el receptor con la mayor fidelidad posible, indistintamente del medio de transmisión que se esté utilizando para llevar a cabo dicho cometido; el transportar información en un lapso de tiempo establecido es un factor decisivo en el área de la telefonía IP y VoIP, siendo una de las principales causas para gestar la calidad de voz es la optimización y el mejoramiento de los servicios; lo que se traduce como una solución al tratar inconvenientes trascendentales que se suelen suscitar en las diferentes redes de telefonía, entre tales se tiene los siguientes problemas:

- La distorsión en la voz.
- Voz robótica.

- Lentitud en el sistema.
- Ruido.
- Eco.
- Llamadas interrumpidas.

Estas falencias se amplifican en los sistemas de telefonía tradicional gracias a que la calidad en este tipo de red se presenta de forma congénita debido al ancho de banda, así como la utilización y afectación de la velocidad por el uso no controlado de los recursos de la red ocasionando que la calidad de voz se afecte notablemente.

Con relación a la afectación de la velocidad y los servicios se considera que el factor que incide directamente sobre la calidad de servicio y por ende sobre la calidad de voz es la Latencia, el Jitter, la pérdida de datagramas IP y el Eco; en la actualidad existen técnicas que permiten resolver estos problemas en especial cuando se trata de garantizar una excelente VoIP.

El Jitter es un efecto que produce la degradación de la señal durante su transmisión, se lo considera como la primera causa en el retraso de la señal, dando paso a la generación de ruido en la fase de transmisión ocasionando la pérdida de datagramas IP.

En las comunicaciones de VoIP también se hacen presente otros factores que debilitan las comunicaciones en tiempo real, una de ellas es el eco, retraso y latencia; resultado de ello son los paquetes perdidos, esto sucede cuando el encaminador se equivoca en la liberación de la información a causa de una saturación del canal, es así que hace su aparición el retraso por el hecho de que los paquetes toman una fase de tiempo más largo de lo estimado provocando un estado de error en el sistema de VoIP.

Por todas estas anomalías presentadas en los sistemas de telefonía en especial en la VoIP, es necesario emplear técnicas responsables que ayuden a mejorar el estado-fidelidad del sonido antes y durante su transmisión, para ello se emplea lo que se conoce con el nombre de Calidad de Servicio de sus siglas en ingles *Quality of Service (QoS)*; esta técnica busca de forma particular robustecer los

servicios a través de políticas que certifican una mejor administración del ancho de banda, el uso de los CODEC, las delimitaciones y alcances del sistema en términos generales.

Con la implementación de la Calidad de Voz o la Calidad de Servicio, se reduce al máximo todos los problemas que se suscitan en este tipo de ambientes en base a que cada elemento que forma parte del sistema es considerado un ente importante cumpliendo cada uno un rol protagónico de tal forma que no se permite ningún tipo de exceso que pueda provocar desestabilidad, iniciar una intrusión o interrupción de los servicios que se estén ejecutando en la VoIP.

La calidad de voz define una serie de parámetros que se acoplan a una comunicación de tipo full dúplex o de comunicación en ambos sentidos, para esto se recomienda que los valores de latencia en el caso de existir en el sistema de VoIP deben ser menor a 150 ms para que el oído humano pueda detectar una conversación agradable, rangos mayores a este valor hace que la comunicación se torne desagradable; la calidad de voz se enmarca en el aprovisionamiento de una alta disponibilidad del servicio a través de métodos de priorización de paquetes y priorización del ancho de banda de tal forma que se elimina el eco, el retraso. Latencia y pérdida de paquetes, así como la atenuación de la señal.

La atenuación es producto del empobrecimiento de intensidad de la señal de transmisión debido a la pérdida de energía en el instante que se transmite, a menudo suele aumentar cuando las frecuencias o el tiempo son muy largos haciendo que el receptor no pueda entender lo que se transmite, un rango moderado de atenuación es menor a 30db.

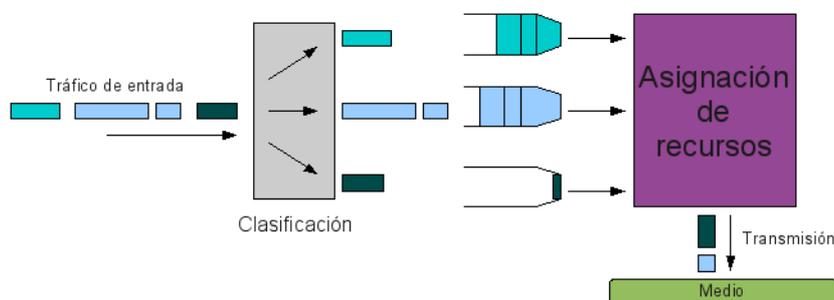
Otra característica que merece ser destacada en la calidad de voz es la administración del ancho de banda debido a que hace una diferenciación de forma específica sobre el uso y la cantidad de aplicaciones que hacen uso de la red de datos y de los servicios de Internet; entre las recomendaciones de la calidad se detallan las siguientes:

- Se recomienda utilizar CODEC G.711 que permite codificar la voz con un ancho de banda de 64 Kbps, lo cual se considera una administración elocuente para el manejo de la voz.

- Si se desea realizar una compresión a menor ancho de banda se recomienda usar CODEC G.729 el cual solo necesita máximo 24Kbps para lograr una compresión adecuada para una conversación perfecta.

Con esto se logra reducir el consumo y se controla el uso de la red por parte de las demás aplicaciones, se logra controlar las descargas, actualizaciones y demás incidencias que pueden comprometer la velocidad de la red.

Entre las pruebas que se realizan para afinar la calidad de voz hay que tener presente la clasificación de la información y del tráfico que se va a ingresar en el servidor; la clasificación se la realiza en la interfaz donde llegan todos los paquetes y de acuerdo a su cabecera e identificaciones el sistema a través de las políticas implementadas dará prioridad a los paquetes de voz; si existiera la necesidad de más recursos debido al incremento del tráfico, el sistema automáticamente asignará mayor ancho de banda controlando los aspectos relacionados con el nivel de enlace de datos-nivel de red; en la *Figura 4.9* se aprecia la subdivisión en el tránsito de red [14].

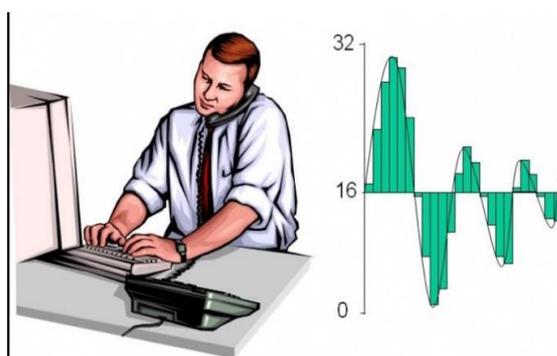


**Figura 4. 9** Esquema de Clasificación de Trafico de Red.

Cuando se asignan mayor recurso para la utilización de la VoIP el sistema hace una fusión con los equipos de conexión interna-externa de la red; la causa de dicha unión entre el software de telefonía y los dispositivos de control es el aumento de tráfico y la reducción en el tiempo de respuesta, una forma de solucionar el agotamiento de los tiempos es a través del cálculo del ancho de banda; a más de la aplicación de calidad de voz en nivel dos o nivel tres según

el modelo *Open Systems Interconnection (OSI)*; lo cual es importante cuando se pretende dotar de telefonía IP o de VoIP en ambientes controlado y no controlados. Al hablar tales ambientes se refiere específicamente a las redes que cuentan con los mecanismo y elementos de red necesarios para controlar todo tipo de acontecimiento dentro de los perímetros de la red de datos; en el caso de las no controladas son aquellas en las que solo se depende de equipos que únicamente interconectan, pero no controlan la red; para ambos casos es válido la utilización y aplicación de la calidad de voz como una medida de control e mejoramiento del servicio aunque se le sacará mayor provecho en el ambiente controlado gracias a que la calidad de voz se afianza teniendo mayor versatilidad con equipamiento que colaboran tanto en el filtrado en el nivel de enlace de datos con las direcciones *Media Access Control (MAC)* y nivel de red con las direcciones IP en la asignación de tráfico de acuerdo al ancho de banda que se posea.

Un elemento válido para la calidad de voz es el cálculo del ancho de banda necesario para la VoIP, para este proceso se debe tener en consideración el tipo de señalización y el audio que se vaya a usar para las llamadas, desde este punto se tiene una mejor apreciación sobre el diseño-conceptualización de lo que implica utilizar calidad de voz en un sistema de VoIP, tal como se observa en la *Figura 4.10* en la cual se observa la conversión de voz a formato de empaquetamiento. [14].



**Figura 4. 10** Esquema del ancho de banda VoIP.

CODEC	Red LAN- WAN, con bajo ancho de banda	Red LAN- WAN, con alto ancho de banda	Red WiFi con bajo ancho de banda	Red WiFi con bajo ancho de banda
G.711	11,1 KB	22,2 KB	28,6 KB	57,2 KB
G.729	4,1 KB	8,2 KB	21,6 KB	43,2 KB
GSM	4,75 KB	9,5 KB	22,25 KB	44,5 KB
iLBC	5 KB	10 KB	22,5 KB	45 KB

**Tabla 11** Principales Códex empleados en la transmisión de base en llamadas concurrentes.

Un problema grave que se agudiza con servidores Elastix es el manejo limitado del ancho de banda y extensiones remotas; agravándose cuando se tiene que hacer uso del Internet para comunicar a la central u otro usuario hacia la extensiones a través de enlaces con velocidades relativamente lentas; este es uno de los factores por el cual no se recomienda desplegar una red de telefonía de VoIP o IP si fuera el caso sin la aplicación previa de calidad de voz y de servicio que son criterios fundamentales en la implementación de un proyecto de tales características. En la *tabla 11* se hace referencia a los principales CODEC que se van a utilizar para lograr una correcta encriptación y codificación de la información para su posterior transmisión en base a una cierta cantidad de llamadas concurrentes. La parte fundamental para un adecuado diseño es la forma de cómo se transportará la VoIP y cuanto ancho de banda se necesita, para el efecto se presenta el siguiente cálculo:

- Se realiza una sumatoria del tamaño de los encabezados de nivel cuatro (Transporte), nivel tres (Red), nivel dos (Enlace de Datos) resultado de esto es el tamaño de la trama (Payload + Encabezado nivel cuatro + Encabezado nivel tres + Encabezado nivel dos) = 20 Byte; adicionalmente se deben sumar la longitud de los encabezados de los protocolos que se utilizan para la transportación es decir: encabezado del *Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP)*, encabezado de protocolo *User Datagram Protocol (UDP)*, encabezado del protocolo IP = (40B) + la trama final del protocolo de recepción de datos del lado del cliente, protocolo *Point-to-Point Protocol (PPP)* = (6B) tal como se lo demuestra mediante la *tabla 12*.

GRÁFICA	DESCRIPCIÓN
	<p>CODEC G.729</p> <p>Tamaño de la Trama = 20B+40B+6B = 66B</p>
	<p>Calidad de Voz y compresión para enlaces con menores anchos de banda. Se aplica compresión de los encabezados de nivel 3 y nivel 4 toma el nombre de cRTP o compresión de RTP de Byte a Bits.</p> <p>Tamaño de la Trama = 20B + 2B + 6B = 28B.</p> <p>Conversion a Bits: 28 Bytes x 8 bits/Byte = 224 bist/trama</p>
	<p>CODEC G.711 y G.728</p> <p>Estos CODEC son una constante y generan 50 tramas por segundo.</p> <p>Ancho de Banda / llamada = tamaño de la trama x tramas por segundo BW / llamada:</p> <p>224bits/trama x 50 trama/segundo = 11.200 bits por segundo por cada llamada que se realice.</p>

CODEC G.729 para la implementación es necesario visualizar la cantidad de llamadas concurrentes para luego multiplicar el ancho de banda por el número de llamadas.

*Ancho de banda requerido = ancho de banda/llamada x llamadas concurrentes con compresión de cRTP. Ancho de Banda = 11.200 bps x 10 (llamadas concurrentes) = 112 kbps.*

**Tabla 12** Cálculo para determinar el ancho de banda requerido para 10 llamadas concurrentes.

De forma general el estándar provee las velocidades en las que operan los principales CODEC a utilizar, dependiendo de las opciones y de la necesidad se plantea el cálculo que gestionará el control del ancho de banda a través de la calidad de voz; tales velocidades se presentan por medio de la *tabla 13*.

CODEC	Velocidad del CODEC
G.711	64 Kbps
G.729	8 Kbps
G.723.1	6,3 Kbps o 5,3 Kbps
G.726	32 Kbps o 24 Kbps
G.728	16 Kbps
G722_64k	64 Kbps
ilbc_mode_20	15,2 Kbps
ilbc_mode_30	13.33Kbps.

**Tabla 13** Velocidades de transferencia de datos en función de los CODEC estandarizados.

#### 4.7 Protocolos de VoIP

Se definen como la regla o el conjunto de políticas que establecen las delimitaciones, así como el alcance de las acciones en las que se puede o no incurrir un determinado equipo o componente electrónico siendo este hardware o software de tal forma que exista una comunicación fluida entre ellos.

Un ejemplo claro del uso de un protocolo es la conversación entre dos personas; para entenderse necesitan hablar el mismo idioma o en el caso de elementos informáticos deben hablar el mismo lenguaje con sus respectivas pausas y demás características que forman parte de una comunicación entre dos partes; para el caso de los protocolos de la VoIP se debe garantizar que la voz viaje en tiempo real y con la mayor fidelidad posible permitiendo que emisor-receptor alcancen una conversación de buena calidad. Si bien es cierto los protocolos son de vital importancia para efectuar adecuadamente una actividad de cualquier índole, pero en este caso cumplen una función primordial debido a que la VoIP requiere dos tipos de reglamentaciones para ser aplicado; las misas que son:

- Protocolos de señalización.
- Protocolos de datos.

Los de señalización son los que determinan el comportamiento y el mecanismo indicado para el intercambio de la información entre ambos extremos aportando funcionalidades que colaboran en la determinación de movilidad y ubicación de los usuarios dentro de la red iniciando-cerrando la sesión; el lenguaje que utilizan estos protocolos permite la comunicación de la central IPBX con los servidores de la red, los teléfonos IP así como asimilación y reconocimiento de los servicios agregados de la red telefónica Internet y externa o PSTN.

Entre los principales protocolos de señalización se enuncian los siguientes:

- Protocolo H.323, es una recomendación de la unión internacional de telecomunicaciones y determina la forma de establecer comunicación de audio-video como soporte de base para las videoconferencias, pertenece a una suite de protocolos orientados a señalar la red y las comunicaciones de la VoIP entre las que más se destaca la señalización de tipo SS7.
- Protocolo SIP, es un protocolo orientado al inicio de sesión fue desarrollado por la *Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF)*, su finalidad es la estandarización de cómo inicializar, establecer, modificar y finalizar las sesiones activas de los usuarios; en este proceso intervienen la voz y el video, aunque también converge la mensajería instantánea. Posee compatibilidad con http y *Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)* por esta razón en los sistemas de navegación web es posible colocar servicios de telefonía en los portales.
- Protocolo IAX, recomendación según el *Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE)* de los Estados Unidos de Norte América en el RFC-5456, fue ideado y diseñado para la conexión de VoIP entre servidores basados en Asterisk, pero en la actualidad también se lo utiliza para conexiones entre clientes. Su arquitectura le permite ser más liviano con mayor facilidad de acoplamiento, lo que representa una ventaja sobre SIP y H.323 debido a que la señalización y los datos viajan en el mismo paquete, esta característica

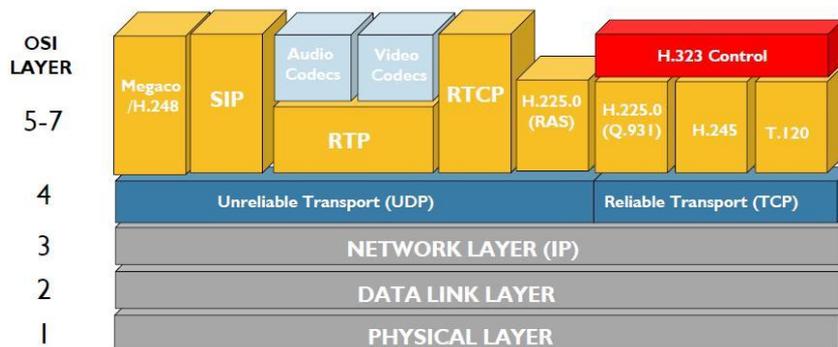
permite reducir el número de conexiones simultáneas y es la más adecuada para entornos hostiles

Los protocolos de datos son la comunicación basada en el estándar para la transmisión de los información entre dos o más dispositivos, determinando métodos y variables que permitan la comprobación de errores y la compresión de datos si fuera necesario con su respectivo acuse de recibo en el inicio-fin del paquete o información transmitida, uno de ellos es el protocolo de transmisión en tiempo real RTSP, *protocolo de control de transmisión (TCP)*, protocolo de Internet IP, *protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP)*, *protocolo de transferencia de archivos (FTP)*, *Point of Purchase (POP)*, SMTP y UDP; todos estos protocolos trabajan en combinación con otras herramientas de forma que se hace posible la transmisión-transferencia de datos entre los distintos puntos de la red.

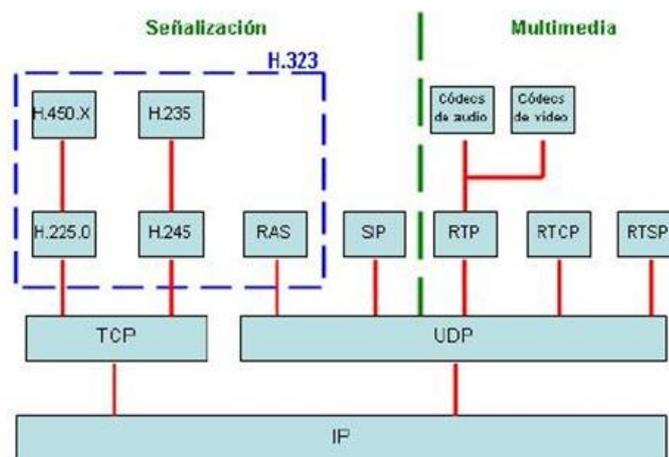
Mediante la *tabla 14* se muestra la forma en la que convergen los protocolos de VoIP de acuerdo a los distintos niveles del modelo OSI en donde se definen específicamente la funcionalidad de cada protocolo.

Para el caso del esquema de los protocolos de VoIP basados en el modelo OSI de observa claramente como el trabajo en conjunto hace posible una perfecta correlación entre el inicio de sesión y comienzo de la transmisión de la información desde el emisor hasta el receptor independientemente del medio de transmisión, en el caso de la segmentación de los protocolos se visualiza la agrupación de los protocolos encargados de la señalización, su comportamiento con los protocolos de datos en los niveles inferiores, la comunicación que ejercen sobre los protocolos encargados del control y establecimiento de la comunicación mediante el proceso de transferencia de datos.

### Esquema de los protocolos de VoIP basados en Modelo OSI



### Segmentación de los protocolos de VoIP



**Tabla 14** Esquematización de la convergencia de protocolos VoIP en niveles OSI.

## CAPÍTULO 5

### 5. IMPLEMENTACIÓN DEL SERVIDOR DE VoIP EN RASPBERRY PI

En esta sección se detallan todos los por menores referentes al proceso de implementación del servidor de voz-datos; así como presentar evidencias de las configuraciones, instalaciones y pruebas realizadas para constatar que funcione según el diseño previsto, destacando el cumplimiento de los criterios impuestos en capítulos anteriores.

#### 5.1 Instalación del servidor de VoIP

Para realizar el estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi se ha optado por la utilización de un software de manufactura ecuatoriana llamado Elastix; esta solución se caracteriza por la incorporación e integración de varios servicios sobre una única plataforma de comunicación; dicha solución se halla embebida en una distribución derivada de Red Hat, esta nueva distribución de sistema operativo toma el nombre de CentOS; en él se incluyen los paquetes de instalación, así como los repositorios necesarios para la agregación, instalación y configuración de una central telefónica con funciones de telefonía IP y VoIP. El software para cumplir con esta finalidad realiza una unificación de varios recursos orientados a resolver las comunicaciones entre usuarios de la red; estos recursos son los siguientes:

- Servidor de correo electrónico para el despliegue y transporte de los mensajes de correo hacia todos los puntos activos de la red de datos.
- Sistema de mensajería instantánea.
- Funciones de fax.
- PBX basada en Asterisk.

Estas cualidades hacen que Elastix sea considerado como algo más que un software, sino que se defina como una solución de comunicación unificada.

Una vez resumido el antecedente de la herramienta que se va a utilizar, es conveniente proceder con el detalle de los accesorios, denotar la explicación de todo el procedimiento que fue necesario para la preparación e instalación del servidor de VoIP, dichos procesos se reflejan por medio de la *tabla 15*.

#### EQUIPOS UTILIZADOS Y DESCRIPCIÓN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SERVIDOR DE VOIP BASADO EN RASPBERRY PI.



*Kit de instalación del Raspberry Pi:* contiene una fuente de alimentación, el dispositivo Raspberry Pi, cables de conexión USB 2.0, manual de instalación y manual de usuario, adaptador de memoria micro SD y una memoria micro SD de 32 GB



*Raspberry Pi 3 con Procesador:* chipset Broadcom modelo BCM2387 de cuatro núcleos con 1,2 GHz de velocidad ARM Cortex-A53. GPU. Dual Core Video Core IV Co-procesador Multimedia, 1GB de memoria RAM de tipo LPDDR2, puerto red Ethernet 10/100 BaseT, conexión inalámbrica 802.11 b / g / n y Bluetooth 4.1



*Tarjeta micro SD de 32 GB:* almacena el sistema operativo Raspbian por defecto para el funcionamiento del Raspberry Pi.



*Teléfono Grandstream modelo GXV3275:* en el cual se configura una extensión para las pruebas en teléfonos fijos



*Teléfono Grandstream GXP 1625:* en él se configura una extensión para las pruebas en teléfonos fijos



*Encaminador Mikrotik modelo 951UI 2HnD:* permite establecer las comunicaciones inalámbricas



*Smartphone:* en ellos se instala una solución de VoIP para la realización de las pruebas necesarias; serán el medio de ensayos para verificar el desempeño de la red y el debido funcionamiento de los procesos.



*Softphone Zoiper:* sirve para instalar la solución de telecomunicaciones en los Smartphone y realizar las pruebas de rigor.

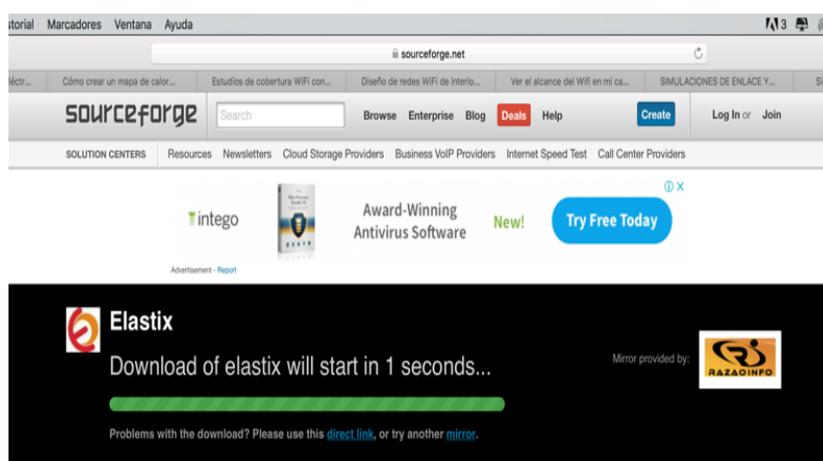


*Monitor:* salida de periferia del Raspberry Pi con el objetivo de visualizar lo que sucede en el Servidor de VoIP, aunque este accesorio puede ser opcional, gracias a que se puede realizar una conexión remota al equipo y así poder constatar su funcionamiento.

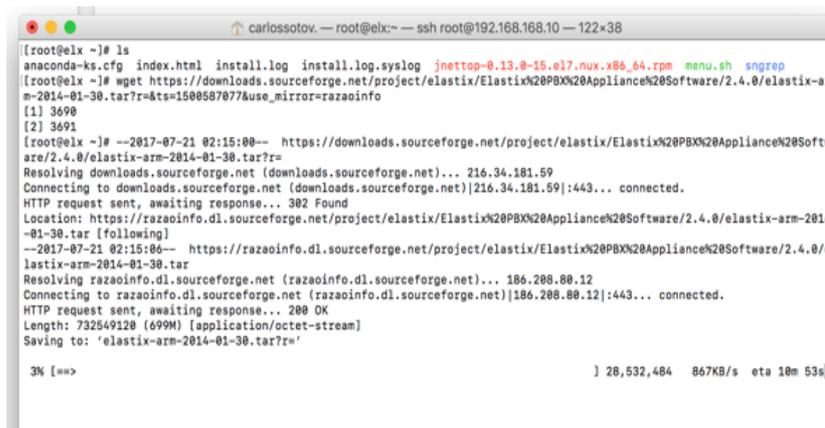
**Tabla 15** Equipos y dispositivos necesarios para implementar el servidor de VoIP.

La instalación se la realiza a través de los siguientes pasos:

1. Se debe realizar la descarga del software desde la Web, lo recomendable es hacerlo desde el repositorio de Elastix, sin embargo, las versiones compatibles con Raspberry Pi así como el soporte ha sido retirado de los principales canales de descarga, dada las circunstancias que el proyecto Elastix fue vendido a la firma 3CX. En este caso esta versión fue obtenida a través de la comunidad Elastix en forma independiente en los siguientes sitios, tal como se muestra en la *Figura 5.1*.
  - <https://sourceforge.net/projects/elastix/files/Elastix%20PBX%20Appliance%20Software/2.4.0/elastix-arm-2014-01-30.tar/download>
  - <https://sourceforge.net/projects/elastix/files/Elastix%20PBX%20Appliance%20Software/2.4.0/>
  - Se obtiene el siguiente archivo: **elastix-arm-2014-01-30.tar.gz**.
2. El siguiente paso es realizar la descompresión del archivo descargado; para este propósito se emplea el siguiente orden.
  - **tar xvf elastix-arm-2014-01-30.tar.gz**; producto de este proceso se obtiene una carpeta o directorio **elastix-arm-2014-01-30** con dos archivos **“BOOT.tar.gz y rootfs.tar.gz”**; siendo apreciados en la *Figura 5.2*.



**Figura 5.1** Repositorio de Descarga de Elastix, versionamiento para Raspberry Pi uelastix.



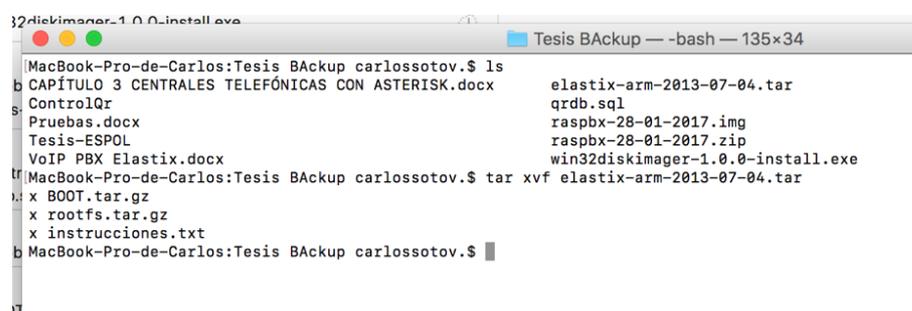
```

[root@elx ~]# ls
anaconda-ks.cfg  index.html  install.log  install.log.syslog  jnettop-0.13.0-15.e17.nux.x86_64.rpm  menu.sh  sngrep
[root@elx ~]# wget https://downloads.sourceforge.net/project/elastix/Elastix%20PBX%20Appliance%20Software/2.4.0/elastix-arm-2014-01-30.tar.gz?r=&ts=1500587077&use_mirror=razaoinfo
[1] 3690
[2] 3691
[root@elx ~]# --2017-07-21 02:15:00-- https://downloads.sourceforge.net/project/elastix/Elastix%20PBX%20Appliance%20Software/2.4.0/elastix-arm-2014-01-30.tar.gz
Resolving downloads.sourceforge.net (downloads.sourceforge.net)... 216.34.181.59
Connecting to downloads.sourceforge.net (downloads.sourceforge.net)|216.34.181.59|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 302 Found
Location: https://razaoinfo.dl.sourceforge.net/project/elastix/Elastix%20PBX%20Appliance%20Software/2.4.0/elastix-arm-2014-01-30.tar.gz [following]
--2017-07-21 02:15:06-- https://razaoinfo.dl.sourceforge.net/project/elastix/Elastix%20PBX%20Appliance%20Software/2.4.0/elastix-arm-2014-01-30.tar.gz
Resolving razaoinfo.dl.sourceforge.net (razaoinfo.dl.sourceforge.net)... 186.208.80.12
Connecting to razaoinfo.dl.sourceforge.net (razaoinfo.dl.sourceforge.net)|186.208.80.12|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 732549120 (699M) [application/octet-stream]
Saving to: 'elastix-arm-2014-01-30.tar.gz'

 3% [====>] 28,532,484  867KB/s  eta 10m 53s

```

Figura 5. 2 Descarga del archivo elastix-arm-2014-01-30.tar.gz a través de la consola.



```

MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis Backup carlossotov.$ ls
CAPÍTULO 3 CENTRALES TELEFÓNICAS CON ASTERISK.docx  elastix-arm-2013-07-04.tar
ControlQr                                          qrdb.sql
Pruebas.docx                                     raspbx-28-01-2017.img
Tesis-ESPOL                                       raspbx-28-01-2017.zip
VoIP PBX Elastix.docx                            win32diskimager-1.0.0-install.exe
MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis Backup carlossotov.$ tar xvf elastix-arm-2013-07-04.tar
x BOOT.tar.gz
x rootfs.tar.gz
x instrucciones.txt
MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis Backup carlossotov.$

```

Figura 5. 3 Proceso de Descompresión y visualización de los BOOT.tar.gz y rootfs.tar.gz requeridos en la instalación del servidor.

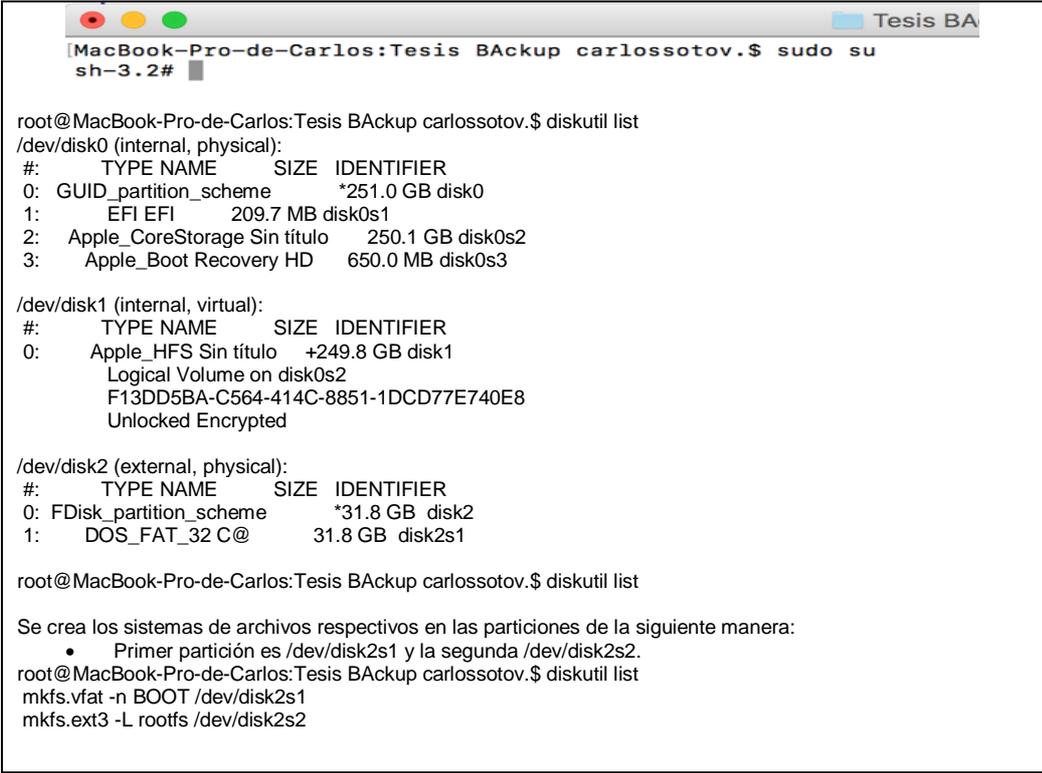
En la *Figura 5.3* se muestran los complementos necesarios para la instalación del servidor de VoIP.

3. Luego es necesario administrar la tarjeta micro SD desde el computador en el cual se hizo la descarga y descompresión de archivos de **elastix-arm-2014-01-30.tar.gz**; dicha acción consiste en eliminar la información existente en la tarjeta SD y crear la tabla de particiones de la siguiente manera:
  - La primera partición debe ser primaria de tipo *File Allocation Tabl (FAT) 16* con un tamaño máximo de 512 Mega byte y a la vez se le debe asignar el nombre **BOOT** a la partición.
  - La segunda partición también debe ser primaria de tipo EXT3 con la totalidad del espacio restante de la tarjeta; en este caso el tamaño de la segunda

partición es de 29 Giga byte, partición a la cual se le asigna el nombre de **rootfs**.

Cabe indicar que este proceso se lo realiza de forma obligatoria siguiendo las recomendaciones del fabricante, dado que la estructura del sistema de archivos para Raspberry Pi se encuentra diseñado para que los archivos de sistemas y las rutas de lectura de inicio del software en forma integral se orienten hacia la partición *BOOT* y *rootfs*, este proceso intrínseco se encuentra definido en el */etc/fstab*.

En el caso que el computador no cuente con la ranura para lectura de tarjetas micro SD, sería necesario utilizar el adaptador USB que viene incluido en el kit de instalación del Raspberry Pi. La administración de la tarjeta de memoria se indica en la *Figura 5.4* donde se especifican los códigos empleados.



```

[MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BBackup carlossotov.$ sudo su
sh-3.2# █

root@MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BBackup carlossotov.$ diskutil list
/dev/disk0 (internal, physical):
#:          TYPE NAME          SIZE IDENTIFIER
0:  GUID_partition_scheme      *251.0 GB disk0
1:      EFI EFI                209.7 MB disk0s1
2:  Apple_CoreStorage Sin título  250.1 GB disk0s2
3:  Apple_Boot Recovery HD      650.0 MB disk0s3

/dev/disk1 (internal, virtual):
#:          TYPE NAME          SIZE IDENTIFIER
0:  Apple_HFS Sin título      +249.8 GB disk1
   Logical Volume on disk0s2
   F13DD5BA-C564-414C-8851-1DCD77E740E8
   Unlocked Encrypted

/dev/disk2 (external, physical):
#:          TYPE NAME          SIZE IDENTIFIER
0:  FDisk_partition_scheme      *31.8 GB disk2
1:   DOS_FAT_32 C@              31.8 GB disk2s1

root@MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BBackup carlossotov.$ diskutil list

Se crea los sistemas de archivos respectivos en las particiones de la siguiente manera:
• Primer partición es /dev/disk2s1 y la segunda /dev/disk2s2.
root@MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BBackup carlossotov.$ diskutil list
mkfs.vfat -n BOOT /dev/disk2s1
mkfs.ext3 -L rootfs /dev/disk2s2

```

**Figura 5. 4** Procedimiento para definirse como súper usuario.

```
root@MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BAckup carlossotov.$
tar -C /media/BOOT/ -xzf BOOT.tar.gz
root@MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BAckup carlossotov
tar -C /media/rootfs/ -xzf rootfs.tar.gz
```

**Tabla 16** Traslado de información Boot y Rootfs.

```
root@MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BAckup carlossotov.$
sudo umount /dev/disk2
Password:
umount: /dev/disk2: not currently mounted
root@MacBook-Pro-de-Carlos:Tesis BAckup carlossotov.$
```

**Tabla 17** Proceso de extracción de la memoria SD.

4. En el cuarto paso es necesario descomprimir y trasladar la información que se encuentra comprimida en los archivos *BOOT.tar.gz* y *rootfs.tar.gz* hacia las particiones creadas en la memoria micro SD; tal proceso se observa mediante la *tabla 16*.
5. Luego se debe desmontar la memoria micro SD para colocarla dentro del Raspberry Pi y empezar con la fase de configuración; este proceso de retiro se aprecia en la *tabla 17*.

## 5.2 Configuración del servidor de VoIP

Para configurar el servidor de VoIP se procede de la siguiente manera, de acuerdo a la *tabla 18* y *19*.

## EQUIPO Y PROCEDIMIENTO PRIMARIO

## EQUIPO Y PROCEDIMIENTO SECUNDARIO



Para esta práctica se optó por la utilización de un encaminador marca Mikrotik modelo 951UI-2HnD por su robustez en características que permiten minimizar el uso e implementación de servidores y equipos de seguridad perimetral para la red WiFi en la que se desea desplegar los servicios de VoIP.

En el encaminador se definió una red LAN en un segmento clase C con una modificación en su máscara de red dado que para el ejemplo solo se requieren de pocas conexiones.

IP WAN del encaminador: 192.168.3.5

Mascara de red: 255.255.255.0

Puerta de enlace: 192.168.3.1

IP LAN del encaminador: 192.168.168.8

Mascara de Red: 255.255.255.192

Se definió un servidor DHCP para la red WiFi con un SSID "Raspberry-PI" internamente se hace un enmascaramiento de la red de tal forma que el encaminador permita la salida hacia el Internet de la central de VoIP.

Datos de conexión:

Red WAN.

Dirección IP: 192.168.3.5

Mascar de Red: 255.255.255.0

Pasarela: 192.168.3.1

DNS1: 192.168.0.1

DNS2: 8.8.8.8

Red LAN.

Dirección IP: 192.168.168.8

Mascar de Red: 255.255.255.192

Servidor DHCP

Segmento 192.168.168.9 – 192.168.168.62 / 26



Una vez concluido el proceso de partición y cargado del sistema operativo en la memoria micro SD se procede a colocarla dentro de la ranura de expansión del Raspberry Pi.



Luego se coloca la placa dentro del Case del dispositivo para efecto de protegerlo del exterior y se procede a conectar el cable de video a través de un puerto HDMI, el teclado en un puerto USB 2.0, el cable de red hacia el Switch de nivel 2 por medio del puerto Ethernet y se energiza con el cable de poder conectado directamente a la fuente del dispositivo.

**Datos de conexión:**

Dirección IP: 192.168.168.10

Mascar de Red: 255.255.255.192



Pasarela: 192.168.168.8

Se verifica que el inicio del dispositivo es correcto y que el proceso de carga y reconocimiento del sistema operativo es óptimo.



*Teléfono Grandstream modelo GXV3275:* permite configurar una extensión para las pruebas en teléfonos fijos con función de video llamadas.

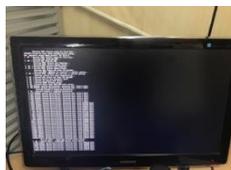
Se observa que el dispositivo se agregó de forma satisfactoria a la red de datos con la utilización del DHCP.

La dirección IP asignada es 192.168.168. 36

**Tabla 18** Proceso de configuración del servidores VoIP.

## EQUIPO Y PROCEDIMIENTO PRIMARIO

## EQUIPO Y PROCEDIMIENTO SECUNDARIO



Se constata por medio del monitor que las comunicaciones se encuentran en estado OK.



*Switch de 8 puertos marca Dlink*: la funcionalidad de su uso es de proveer de conexión entre el encaminador y la central de VoIP al igual que los equipos informáticos adyacentes como computador portátil y teléfonos IP fijos, los Smartphone y Softphone se conectarán a la central a través de la red WiFi.



Se evidencia el escenario de implementación y configuración del Servidor de VoIP; para lo cual se dispone de un Raspberry Pi, un Computador portátil, un Switch Ethernet de 8 puertos, un encaminador con funciones de WiFi, un teclado USB, dos teléfonos marca Grandstream, cuatro Smartphone y cuatro Softphone.

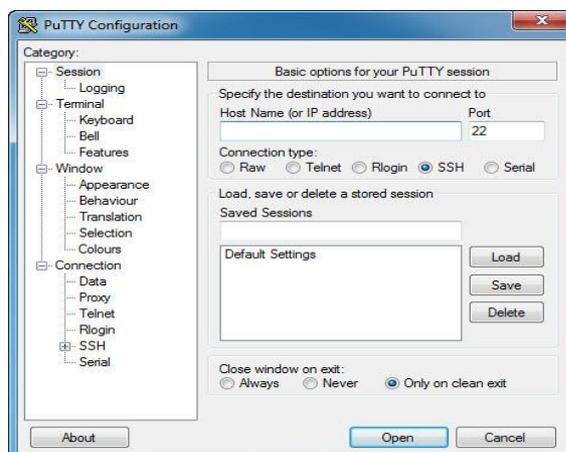


*Teléfono marca Grandstream modelo GXP 1625*: sirve para configurar la extensión de la operadora y estación de trabajo.

Se observa que el dispositivo se agregó de forma satisfactoria a la red de datos con la utilización del DHCP. La dirección IP asignada es 192.168.168. 34

**Tabla 19** Proceso de configuración del servidores VoIP.

Luego de haber realizado las conexiones de los equipos activos de la red con el servidor de VoIP basado en Raspberry Pi es necesario realizar la configuración y administración de la central, para ello se lo puede hacer de dos formas la primera es a través de una conexión remota por medio del protocolo *SSH (Secure SHell, o intérprete de órdenes seguras)* para este efecto es necesario que la conexión sea por consola; se recomienda la utilización de la herramienta de nombre PUTTY el mismo que es un cliente SSH que se distribuye con licencia libre y es muy utilizado para este tipo de conexiones desde plataformas Windows hacia equipos con sistemas operativos Linux o Unix, la ejecución de la interface se demuestra en la *Figura 5.5*.



**Figura 5. 5** Interfaz de la herramienta PUTTY para conexiones remotas SSH.

Se verifica el inicio del sistema operativo, se comprueba que todos sus módulos y componentes se activen sobre la plataforma CentOS, este es un proceso rutinario que se ejecuta cada vez que el equipo se encienda o se reinicie; tal procedimiento se detalla mediante la *Figura 5.6*.

```
[root@elastix ~]# service network restart
Interrupción de la interfaz eth8:           [ OK ]
Interrupción de la interfaz de loopback:   [ OK ]
Activación de la interfaz de loopback:     [ OK ]
Activando interfaz eth0:                   [ OK ]
[root@elastix ~]# _
```

**Figura 5. 6** Inicio del sistema en plataforma CentOS.

```
CentOS release 5.7 (Final)
Kernel 2.6.18-238.12.1.el5 on an i686

PbxElastix login: root
Password:

Welcome to Elastix
-----

Elastix is a product meant to be configured through a web browser.
Any changes made from within the command line may corrupt the system
configuration and produce unexpected behavior; in addition, changes
made to system files through here may be lost when doing an update.

To access your Elastix System, using a separate workstation (PC/MAC/Linux)
Open the Internet Browser using the following URL:
http://192.168.0.240

[root@PbxElastix ~]# _
```

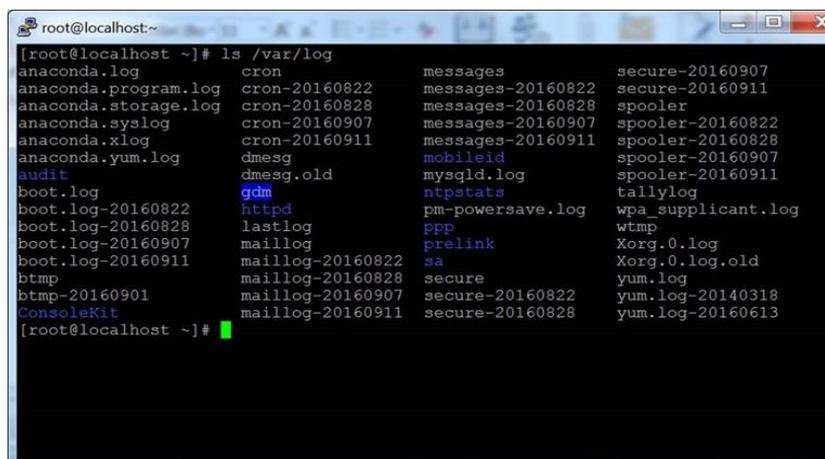
**Figura 5. 7** Entorno de uso del Servidor VoIP.

En la *Figura 5.7*, se muestra el entorno que provee el servidor de VoIP por medio de una conexión remota, al momento de ingresar por consola el sistema solicita de manera inmediata las credenciales de acceso.

*Usuario:* root

*Contraseña:* ASDasd123.

Mediante la *Figura 5.8*, se detalla el inicio de sesión del súper administrador del sistema, este ambiente es totalmente propicio para los administradores de Linux debido a que provee una interfaz donde únicamente se puede trabajar con el uso de órdenes; dotando de mayor nivel de seguridad a la conexión en forma general.



```

root@localhost ~# ls /var/log
anaconda.log          cron-20160822      messages            secure-20160907
anaconda.program.log cron-20160828      messages-20160822  secure-20160911
anaconda.storage.log cron-20160828      messages-20160828  spooler
anaconda.syslog      cron-20160907      messages-20160907  spooler-20160822
anaconda.xlog        cron-20160911      messages-20160911  spooler-20160828
anaconda.yum.log     dmesg              mobileid            spooler-20160907
audit                dmesg.old          mysqld.log          spooler-20160911
boot.log             gdm                ntpstats            tallylog
boot.log-20160822    httpd              pm-powersave.log  wpa_supplicant.log
boot.log-20160828    lastlog            ppp                 wtmp
boot.log-20160907   maillog            prelink             Xorg.0.log
boot.log-20160911   maillog-20160822  sa                  Xorg.0.log.old
btmp                 maillog-20160828  secure              yum.log
btmp-20160901       maillog-20160907  secure-20160822    yum.log-20140318
ConsoleKit           maillog-20160911  secure-20160828    yum.log-20160613
[root@localhost ~]#

```

**Figura 5. 8** Inicio de sesión del administrador principal del sistema.



**Figura 5. 9** Interfaz de ingreso a Elastix por medio de la dirección IP 192.168.168.10.

En la segunda opción para la administración-configuración del servidor de VoIP se la realiza a través de la interfaz web que provee el sistema Elastix; para ello se debe ingresar con la ayuda del navegador Firefox o Safari, se digita la siguiente dirección IP 192.168.168.10 en la barra de direcciones y luego presionar la tecla ENTER para que el navegador haga la negociación con el servidor a fin de que se muestre la aplicación de Elastix tal como se indica en la *Figura 5.9*.

Se observa como el sistema solicita los siguientes datos para ingresar a Elastix:

*Usuario:* admin

*Contraseña:* ASDasd123.

En la *Figura 5.10*, se muestra la interfaz del Servidor en la que se visualiza un tablero de instrumentos el mismo que representa de forma gráfica las principales características del sistema, su objetivo es simbolizar los estados que puede tener el servidor, con ello parametrizar la toma de decisiones del administrador; la herramienta se orienta a indicar los posibles errores y mejorar las habilidades del administrador del servidor.



**Figura 5. 10** Tablero de Instrumentos del Servidor de VoIP.



**Figura 5. 11** Creación del dominio virtual de correo espol.edu.ec, para efecto de prueba de buzones entre usuarios del servidor de VoIP.

En el módulo de instrumentos se despliegan las principales funciones del servidor y la lectura estadística del uso de CPU, RAM y Uso del Disco Duro.

En la *Figura 5.11*, se procede con la creación de un dominio de correo electrónico para conectar los buzones de correo de texto o de voz entre los distintos usuarios una vez que ya se encuentren establecidos las comunicaciones entre la aplicación y los dispositivos móviles o fijos en la red de datos.

Mediante la *Figura 5.12*, se indica el proceso la creación de las extensiones SIP o IAX, para efectuar dicha acción se debe estar registrado como usuario en la interfaz web del servidor; para configurar una extensión es necesario anotar 4 parámetros básicos en la configuración:

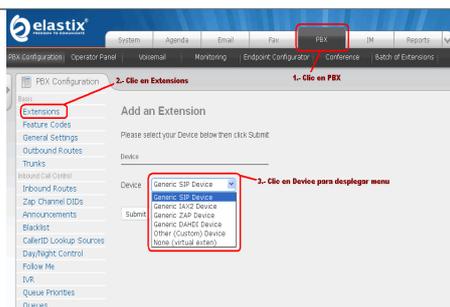
- El tipo de Extensión que se desea utilizar SIP o IAX2.
- El número que se le piensa asignar a la extensión.
- El nombre con el que se desea identificar a la extensión.
- La clave o palabra secreta con la cual se desea asociar a la extensión.

Cada una de las extensiones debe contar con un único número, en el caso de poseer un enlace de tipo E1 suele haber una serie de números DID asignados por parte del proveedor, por lo general se el plan numérico se lo compone a partir del segmento que haya sido asignado por el proveedor lo cual hace más fácil la marcación desde la red de telefonía pública hacia nuestra PBX-IP Elastix sobre Raspberry Pi.



**Figura 5. 12** Interfaz Web del Servidor de VoIP, opción PBX, creación de Extensión SIP/IAX2.

El procedimiento a seguir para la creación de una extensión IP en el Servidor de VoIP basado en Raspberry Pi, se detalla a través de la *tabla 20*.



Nos ubicamos en la pestaña de PBX, opción de extensiones y seleccionar el tipo de extensión que se desea crear.



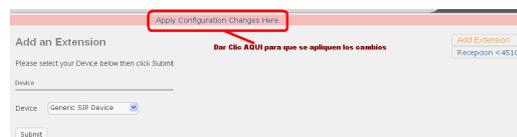
Se selecciona el tipo de extensión SIP / IAX2 y luego dar un clic en aceptar para proceder al ingreso de los parámetros necesarios para la extensión.

En esta opción es necesario definir el número que será asignado a la extensión y el nombre con el cual se lo desea identificar, en este caso el número de la extensión es el 4510 y será destinado para la recepción.

Toda extensión IP que sea creada en el servidor debe estar asociada a una contraseña o palabra secreta a fin de poderse validar en el instante que se haga la conexión y agregación del teléfono IP, Teléfono Celular, Computador o Softphone.

Se muestra el botón submit cuya interpretación al español sería enviar, al dar un clic, automáticamente se guardan los cambios y el sistema mostraría en pantalla que la extensión 4510 ya formaría parte del plan de extensiones de la central.

Se debe aplicar los cambios para surtan efectos las modificaciones que se realizaron en el sistema



Se finaliza el proceso dando clic en el boton Submit y de manera imediata se graban los cambios solicitados al sistema.

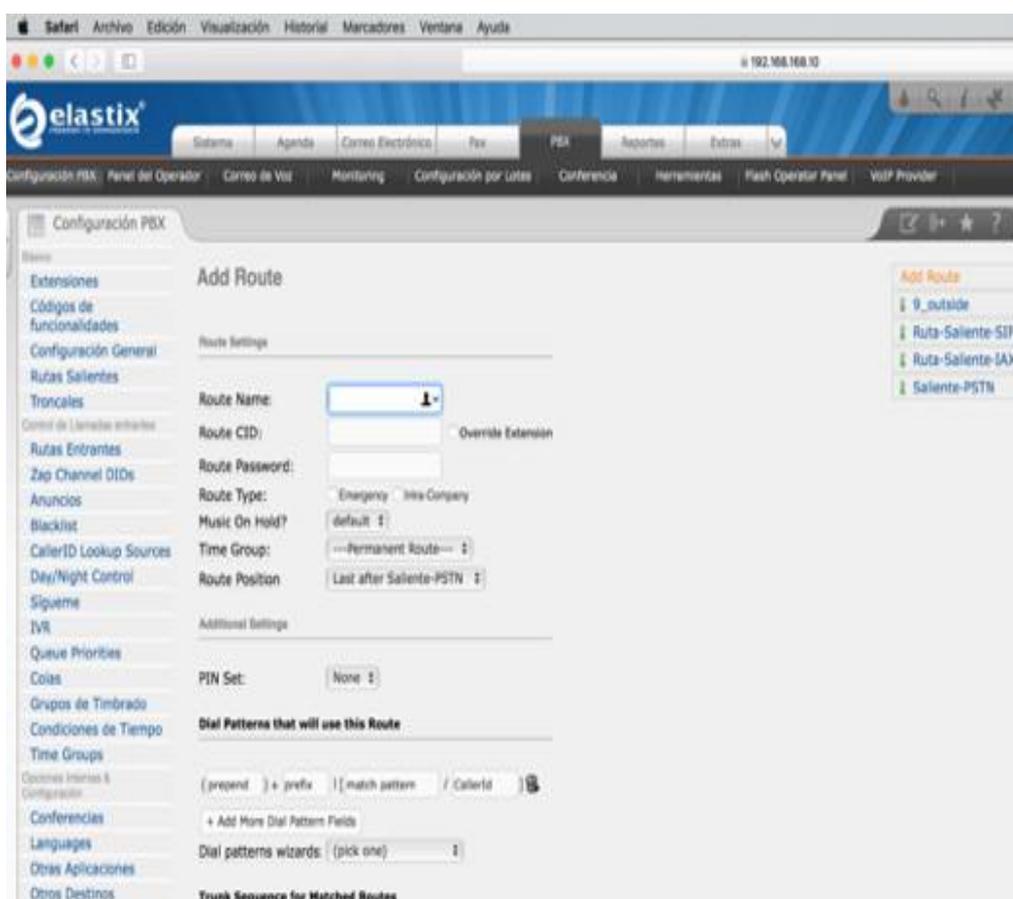
**Tabla 20** Proceso para la creación de una extensión IP.

Luego de haber creado las extensiones SIP en la central, es necesario que se establezcan las configuraciones para la troncal telefónica, así como las rutas entrantes y salientes; para tal caso se definen los destinos al momento de recibir una llamada por medio de la troncal, de igual forma se indica el trayecto por el cual se debe establecer comunicación externa desde los equipos registrados en la red de datos, se describe el proceso de inicialización por medio de las figuras presentadas a continuación.



Figura 5. 13 Configuración de la troncal SIP.

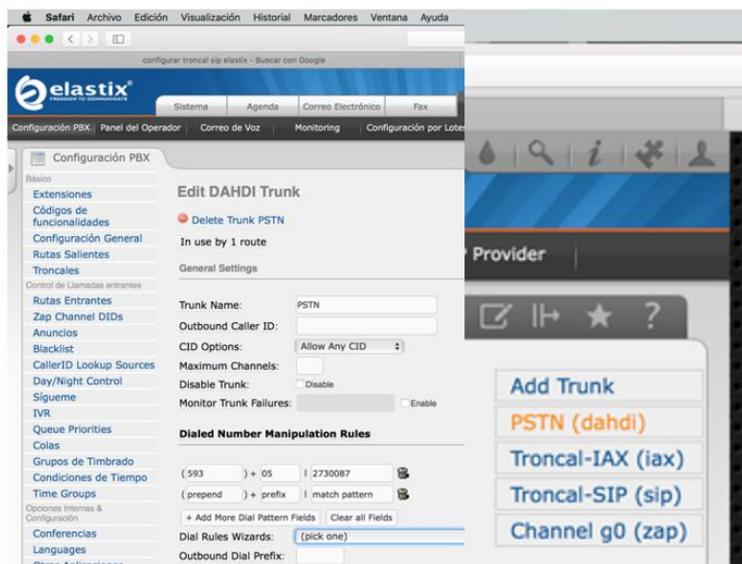
En la *figura 5.13* se muestra el proceso de configuración de la troncal SIP, para tal efecto se ingresa en la opción PBX, luego se selecciona la pestaña de troncales y de inmediato se visualizará la opción para agregar una troncal mediante los parámetros necesarios.



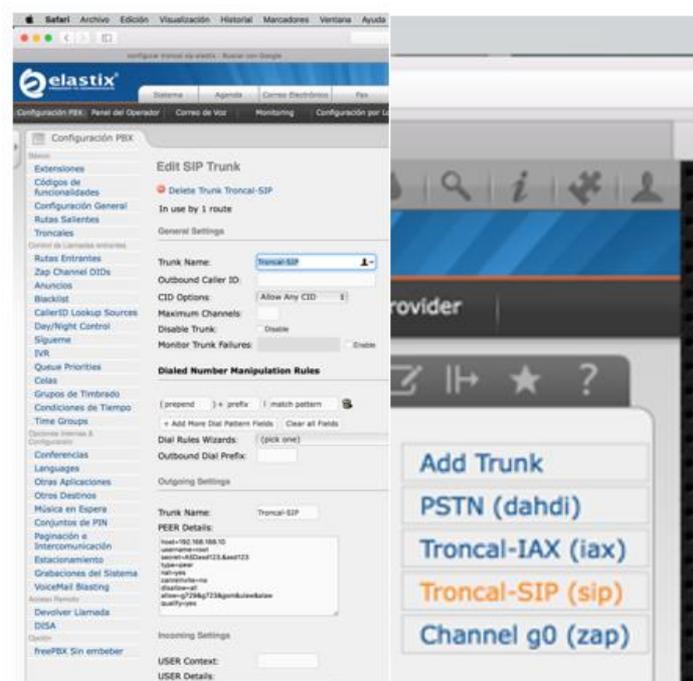
**Figura 5. 14** Configuración de los detalles técnicos necesarios en la comunicación de red.

En la *Figura 5.14* se evidencia los parámetros requeridos para establecer la comunicación desde la red de datos hacia la red de telefonía pública, este procedimiento se lo realiza con datos provistos por el proveedor del servicio telefónico; posteriormente se verifica la configuración de las troncales para conexiones de tipo PSTN, SIP e IAX; dicho proceso necesita realizarse por partes considerado las características de la PTSN, los datos otorgados por la empresa de servicio deben ser establecidos en igual medida en el sistema, tal

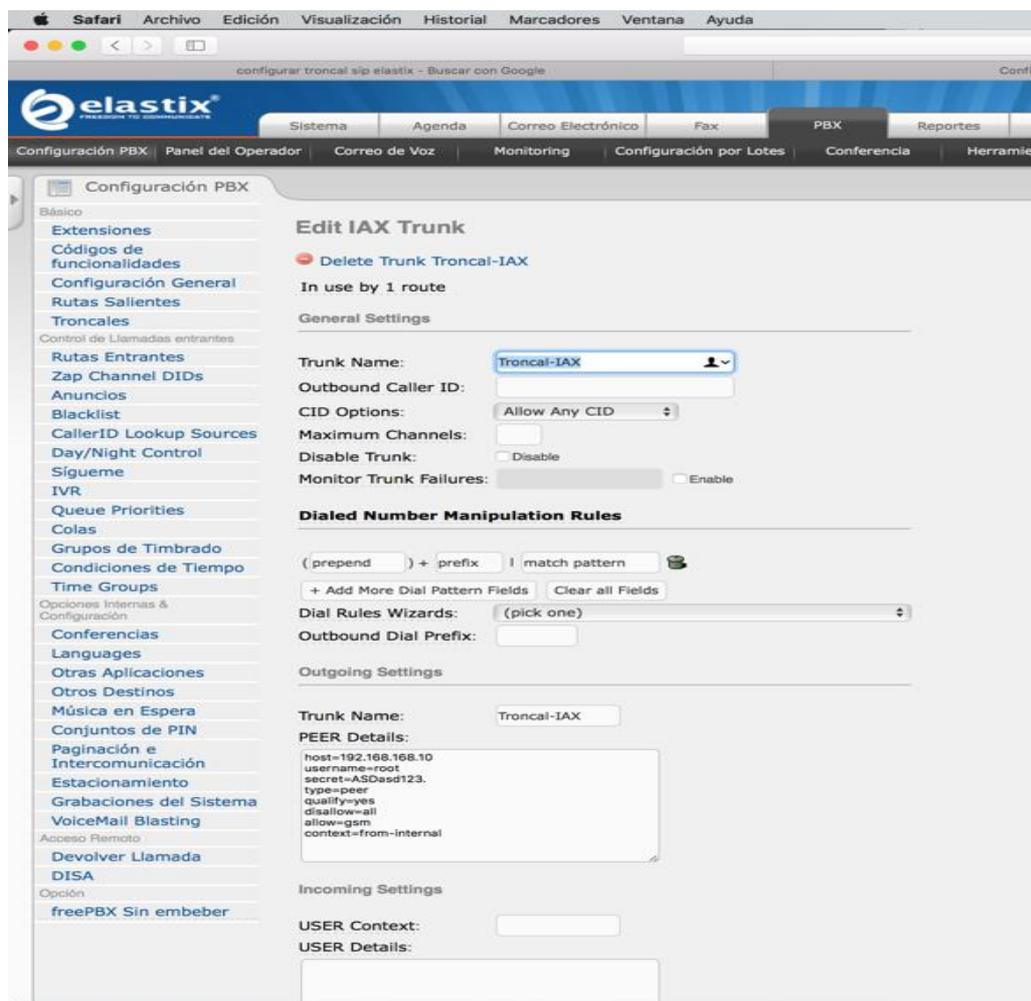
como se detalla en las *Figuras 5.15, 5.16 y 5.17* respectivamente según la estructuración de Elastix.



**Figura 5. 15** Configuración de parámetros necesarios para una troncal para la PSTN.



**Figura 5. 16** Parámetros de configuración para una troncal de tipo SIP.



**Figura 5. 17** Parámetros de configuración para una troncal de tipo IAX.

Una vez ingresados los parámetros de la troncal, es necesario que la configuración del Servidor cuente con las rutas entrantes y salientes para que se garantice una correcta comunicación, además de determinar su comportamiento en base al rendimiento del mismo; dicho proceso se lo demuestra a través de las *Figuras 5.18* y *5.19*.

The screenshot shows the Elastix PBX configuration interface in a Safari browser. The main heading is "Configuración PBX". On the left is a navigation menu with categories like "Básico", "Control de Llamadas entrantes", "Time Groups", "Opciones Internas & Configuración", "Conferencias", "Acceso Remoto", and "Opción". The main content area is titled "Add Incoming Route".

**Add Incoming Route**

Add Incoming Route

Description:

DID Number:

Caller ID Number:

CID Priority Route:

Options

Alert Info:

CID name prefix:

Music On Hold:

Signal RINGING:

Pause Before Answer:

Privacy

Privacy Manager:

Fax Detect

Detect Faxes:  No  Yes

CID Lookup Source

Source:

Language

Language:

Set Destination

Figura 5. 18 Despliegue de la opción para la creación de rutas entrantes o salientes.

The screenshot shows the Elastix PBX configuration interface in a Safari browser. The main heading is "Configuración PBX". On the left is a navigation menu. The main content area is titled "Route: Entrante-PSTN".

**Route: Entrante-PSTN**

Delete Route Entrante-PSTN

Edit Extension 800 (Operadora)

Edit Incoming Route

Description:

DID Number:

Caller ID Number:

CID Priority Route:

Options

Alert Info:

CID name prefix:

Music On Hold:

Signal RINGING:

Pause Before Answer:

Privacy

Privacy Manager:

Fax Detect

Detect Faxes:  No  Yes

CID Lookup Source

Source:

Language

Language:

Set Destination

Figura 5. 19 Proceso de creación de una ruta entrante (Entrante-PSTN).

El desarrollo de configuración de las rutas salientes comprende tres tipos de rutas, debido a este caso particular de instalación; tales rutas son las siguientes:

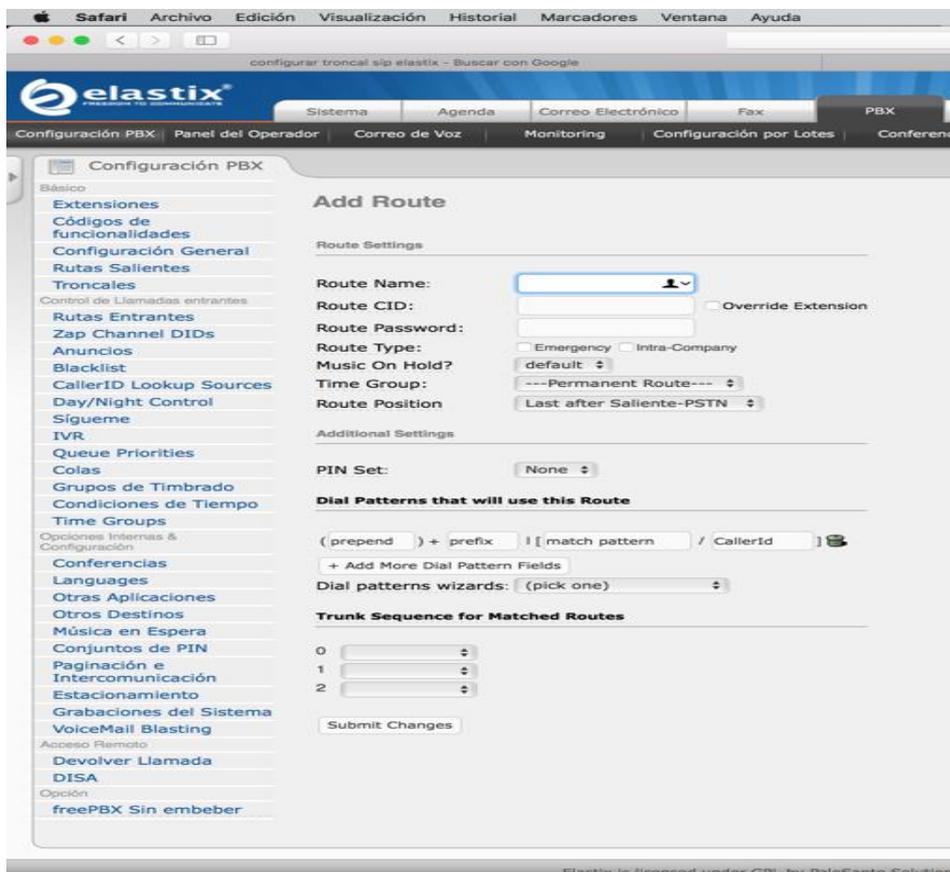


Figura 5. 20 Opción para agregar rutas salientes en el servidor VoIP.

- Ruta-Saliente-SIP.
- Ruta –Saliente-IXX.
- Saliente-PSTN.

En la *Figuras 5.20*, se aprecia el despliegue de la opción donde se selecciona las rutas salientes que deben constar en el sistema; se hace por medio de la pestaña PBX opción rutas salientes y luego seleccionar el tipo de ruta que se desea crear de acuerdo a la necesidad que imponga el servicio a satisfacer.

La configuración de los parámetros en las rutas salientes tipo SIP, IAX y PSTN, se indican respectivamente en las *figuras 5.21, 5.22 y 5.23*; en las mismas se observa el despliegue de las variables con los valores correspondientes según las tolerancias del servidor.

The screenshot shows the Elastix PBX configuration interface in a Safari browser window. The page title is 'configurar troncal sip elastix - Buscar con Google'. The interface includes a navigation menu with options like 'Sistema', 'Agenda', 'Correo Electrónico', 'Fax', and 'PBX'. The main content area is titled 'Configuración PBX' and contains a sidebar with various configuration categories such as 'Básico', 'Extensiones', 'Rutas Salientes', and 'Troncales'. The main panel is titled 'Edit Route' and displays the configuration for a route named 'Ruta-Saliente-SIP'. The 'Route Settings' section includes fields for 'Route Name', 'Route CID', 'Route Password', 'Route Type' (with options for Emergency and Intra-Company), 'Music On Hold?' (set to default), 'Time Group' (set to ---Permanent Route---), and 'Route Position' (set to ---No Change---). The 'Additional Settings' section includes a 'PIN Set' field (set to None). Below this, the 'Dial Patterns that will use this Route' section shows three patterns: '(05) + 2 | [ 730087 / CallerId ]', '(593) + 9 | [ 69343000 / CallerId ]', and '(prepend) + prefix | [ match pattern / CallerId ]'. There is a '+ Add More Dial Pattern Fields' button and a 'Dial patterns wizards: (pick one)' dropdown. The 'Trunk Sequence for Matched Routes' section shows a list with '0 Troncal-SIP' and '1' selected, with an 'Add Trunk' button. At the bottom, there is a 'Submit Changes' button. The footer of the page reads 'Elastix is licensed under GPL by PaloSanto Solutions.'.

Figura 5. 21 Configuración de una ruta saliente de tipo SIP.

The screenshot shows the Elastix PBX configuration interface in a Safari browser window. The page title is 'configurar troncal sip elastix - Buscar con Google'. The interface includes a navigation menu with options like 'Sistema', 'Agenda', 'Correo Electrónico', 'Fax', and 'PBX'. The main content area is titled 'Edit Route' and shows the configuration for a route named 'Ruta-Saliente-IAX'. The route settings include fields for Route Name, Route CID, Route Password, Route Type (Emergency and Intra-Company), Music On Hold?, Time Group, and Route Position. The additional settings section shows the PIN Set set to 'None'. Below this, there are dial patterns that will use this route, such as '(05) + 2 | [ 730087 / CallerId ]' and '(593) + 9 | [ 69343000 / CallerId ]'. The trunk sequence for matched routes is shown as '0 Troncal-IAX' and '1'. The interface also includes a 'Submit Changes' button and a footer stating 'Elastix is licensed under GPL by PaloSanto Solutions.'

Figura 5. 22 Configuración de una ruta saliente de tipo IAX.

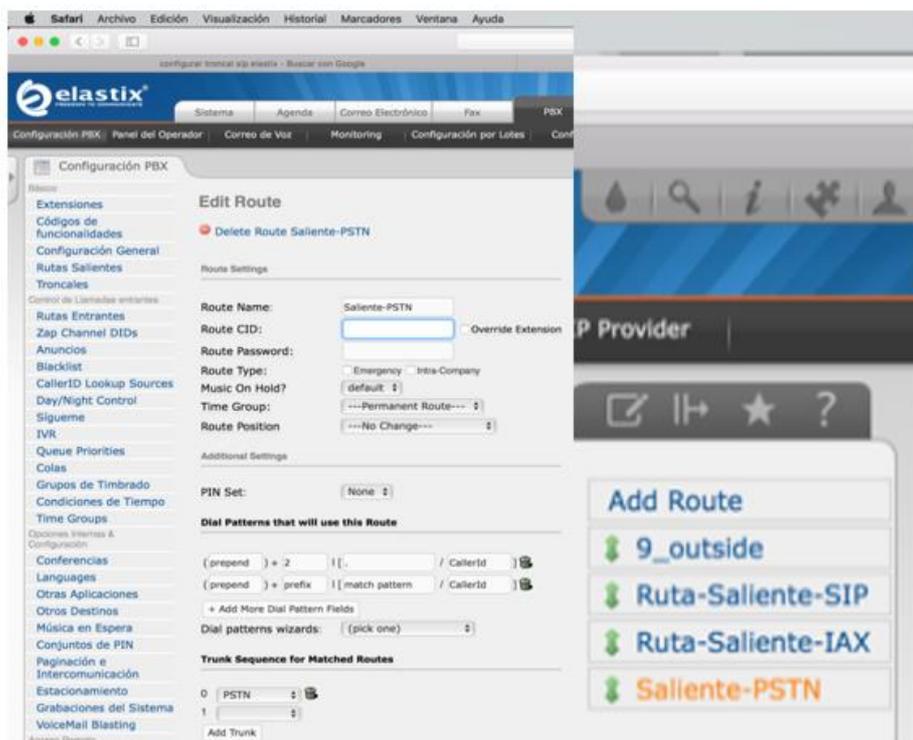


Figura 5. 23 Configuración de una ruta saliente de tipo PSTN.

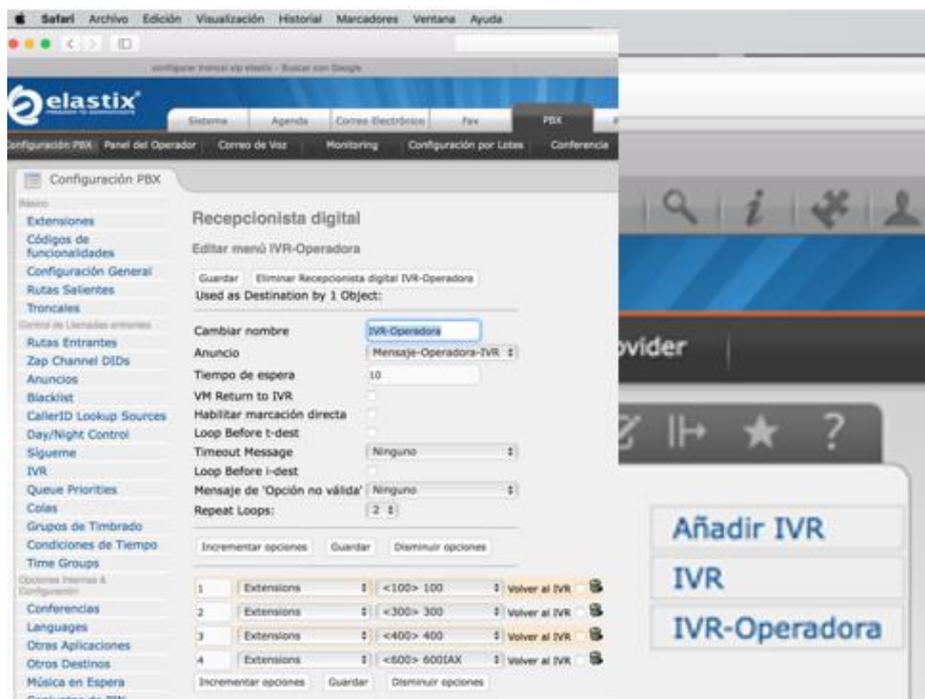


Figura 5. 24 Configuración de un IVR (IVR-Operadora)

En la *Figura 5.24*, se muestra la pantalla de configuración de un menú IVR, con el con el objetivo de aliviar la carga a la operadora y reducir al máximo los procesos de contestación de cada llamada entrante.

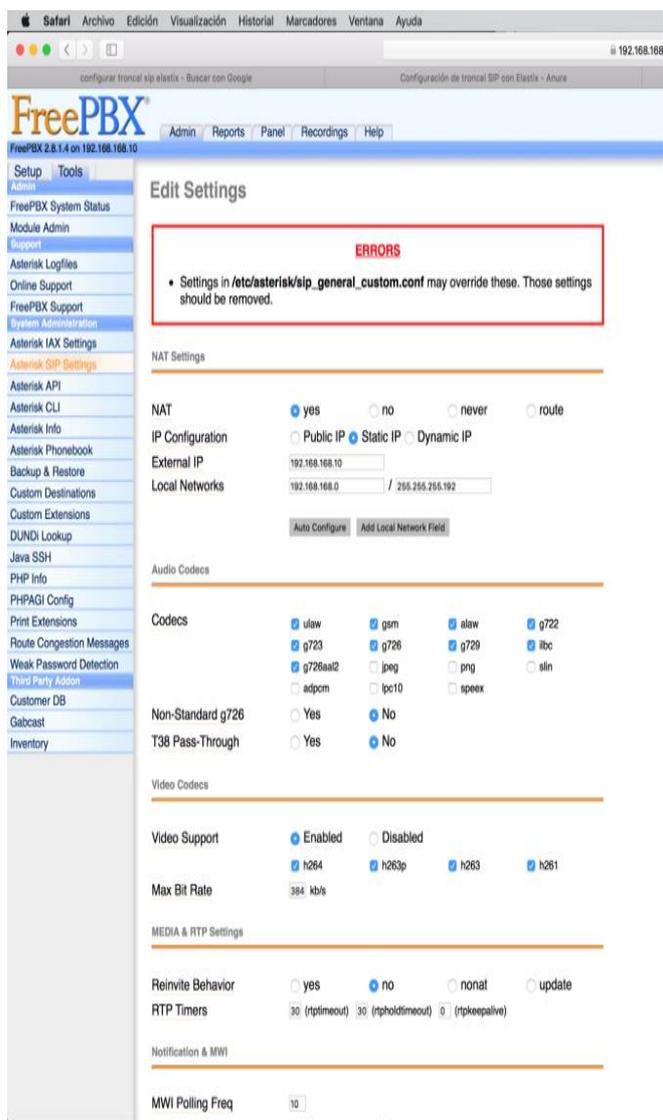
En la *Figura 5.25*, se observa el proceso para habilitar el soporte de video llamadas en el servidor, para lograrlo es necesario ingresar a la interfaz web de FreePBX la misma que se encuentra embebida dentro del servidor; una vez que se haya ingresado con normalidad al sistema de FreePBX se debe seleccionar la opción de herramientas luego de ello hay que seleccionar en el menú de opciones en el extremo izquierdo la pestaña que indica configuraciones de Asterisk SIP; esta opción permite habilitar una serie de aditamentos indispensables para el soporte y la transmisión de video a través del servidor.

The screenshot displays the FreePBX System Status page. The main content area is divided into several sections:

- FreePBX Notices:** Contains 8 modules available for online upgrades and 1 error encountered by Cronmanager.
- FreePBX Statistics:** Shows 0 total active calls, 0 internal calls, 0 external calls, and 0 total active channels. It also lists 4 IP Trunks Online and 0 IP Trunk Registrations.
- Uptime:** System Uptime is 8 hours, 42 minutes. Asterisk uptime is 47 years, 31 weeks, 1 day, 23 hours, 32 minutes. Last Reload is 52 seconds.
- System Statistics:** Processor: Load Average 2.39, CPU 54%. Memory: RAM 22%, Swap 0%. Disks: / 86%. Networks: eth0 receive/transmit 0.00 KB/s.
- Server Status:** Asterisk, Op Panel, MySQL, Web Server, and SSH Server are all OK.

The left sidebar contains a navigation menu with options like Setup, Tools, Admin, FreePBX System Status, Module Admin, Support, Asterisk Logfiles, Online Support, FreePBX Support, System Administration, Asterisk IAX Settings, Asterisk SIP Settings, Asterisk API, Asterisk CLI, Asterisk Info, Asterisk Phonebook, Backup & Restore, Custom Destinations, Custom Extensions, DUNDI Lookup, Java SSH, PHP Info, PHPAGI Config, Print Extensions, Route Congestion Messages, Weak Password Detection, Third Party Addon, Customer DB, Gabcast, and Inventory.

Figura 5. 25 Interfaz web de FreePBX.



**Figura 5. 26** Interfaz de FreePBX.

En la *Figura 5.26*, se observa la opción de configuración de Asterisk SIP a través de la consola de FreePBX embebida en Elastix, se debe habilitar el soporte de los CODEC necesarios para la transmisión del video, en el caso que el servidor no cuente con el equipamiento lógico, se deberá realizarla instalación de los paquetes requeridos para el correcto aprovisionamiento del servicio.

[Inicio](#) [Visualización](#) [Historial](#) [Marcadores](#) [Ventana](#) [Ayuda](#)

---

[sip elastix - Buscar con Google](#)
Configuración de troncal SIP con Elastix - Anura

**Video Support**  Enabled  Disabled  
 h264  h263p  h263  h261

**Max Bit Rate**  kb/s

---

**MEDIA & RTP Settings**

---

**Reinvite Behavior**  yes  no  nonat  update  
**RTP Timers**  (rtptimeout)  (rtpholdtimeout)  (rtpkeepalive)

---

**Notification & MWI**

---

**MWI Polling Freq**   
**Notify Ringing**  Yes  No  
**Notify Hold**  Yes  No

---

**Registration Settings**

---

**Registrations**  (registertimeout)  (registerattempts)  
**Registration Times**  (minexpiry)  (maxexpiry)  (defaultexpiry)

---

**Jitter Buffer Settings**

---

**Jitter Buffer**  Enabled  Disabled

---

**Advanced General Settings**

---

**Language**   
**Default Context**   
**Bind Address**   
**Bind Port**   
**Allow SIP Guests**  Yes  No  
**SRV Lookup**  Enabled  Disabled

**Other SIP Settings**  =

Figura 5. 27 Guardado de configuraciones en la Interfaz.

La *Figura 5.27*, evidencia que una vez terminado el proceso de habilitación mediante la elección de las distintas opciones de soporte para video llamadas es necesario aceptar y guardar las modificaciones para que los cambios surtan efecto.

### 5.3. Pruebas de funcionamiento del servidor de VoIP

Las pruebas de funcionamiento se basan en los siguientes parámetros:

- Comprobación del enlace del servidor mediante la prueba de ping, tal acción se observa en la *figura 5.28*.
- Verificación del estado de la señal y cobertura de la red inalámbrica que genera el servidor mediante una herramienta grafica de nombre inSSIDer, la misma que se utiliza para el escaneo-monitoreo de la red WiFi, como se aprecia en la *figura 5.29*.
- Confirmación del estado y estatus de los dispositivos fijos y móviles que hacen uso de la red WiFi, dicha tarea se visualiza mediante la *figura 5.30*.
- En la *figura 5.31*, se observan las pruebas de comunicación inter usuarios con llamadas internas y externas.
- La saturación del canal de comunicación se detalla a través de la *Figura 5.32*.

```

MacBook-Pro-de-Carlos:~ carlossotov.$ ping 192.168.168.10
PING 192.168.168.10 (192.168.168.10): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.168.10: icmp_seq=0 ttl=55 time=99.612 ms
64 bytes from 192.168.168.10: icmp_seq=1 ttl=55 time=106.093 ms
64 bytes from 192.168.168.10: icmp_seq=2 ttl=55 time=100.919 ms
64 bytes from 192.168.168.10: icmp_seq=3 ttl=55 time=101.281 ms
64 bytes from 192.168.168.10: icmp_seq=4 ttl=55 time=99.029 ms
64 bytes from 192.168.168.10: icmp_seq=5 ttl=55 time=99.472 ms
64 bytes from 192.168.168.10: icmp_seq=6 ttl=55 time=100.226 ms
^C
--- 192.168.168.10 ping statistics ---
7 packets transmitted, 7 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 99.029/100.947/106.093/2.228 ms
MacBook-Pro-de-Carlos:~ carlossotov.$

```

**Figura 5. 28** Prueba de ping hacia el servidor para constar su estado activo y excelente tiempo de respuesta.

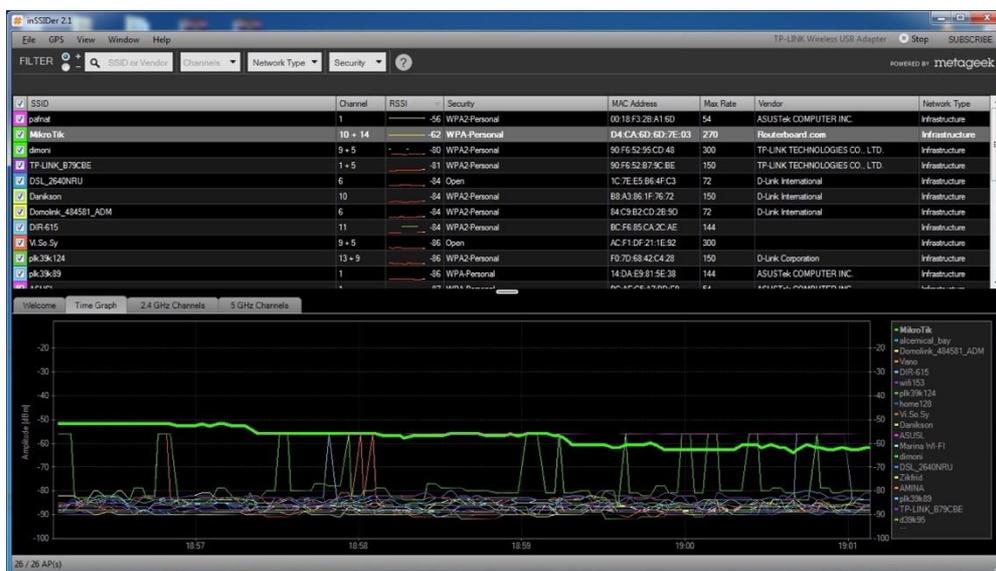


Figura 5. 29 Interfaz gráfica de la herramienta inSSIDer.

En la *Figura 5.30*, se observa el medio a través del cual se escanea y monitorea el comportamiento de la red WiFi con el objetivo de comprobar que su funcionamiento es adecuado con relación a las demás redes existentes alrededor.

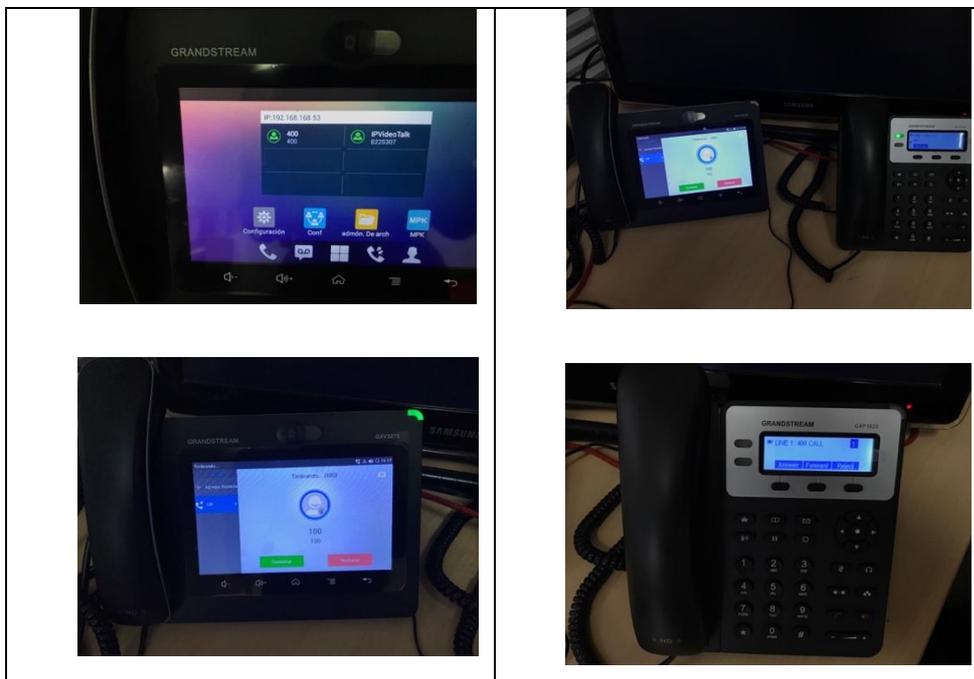
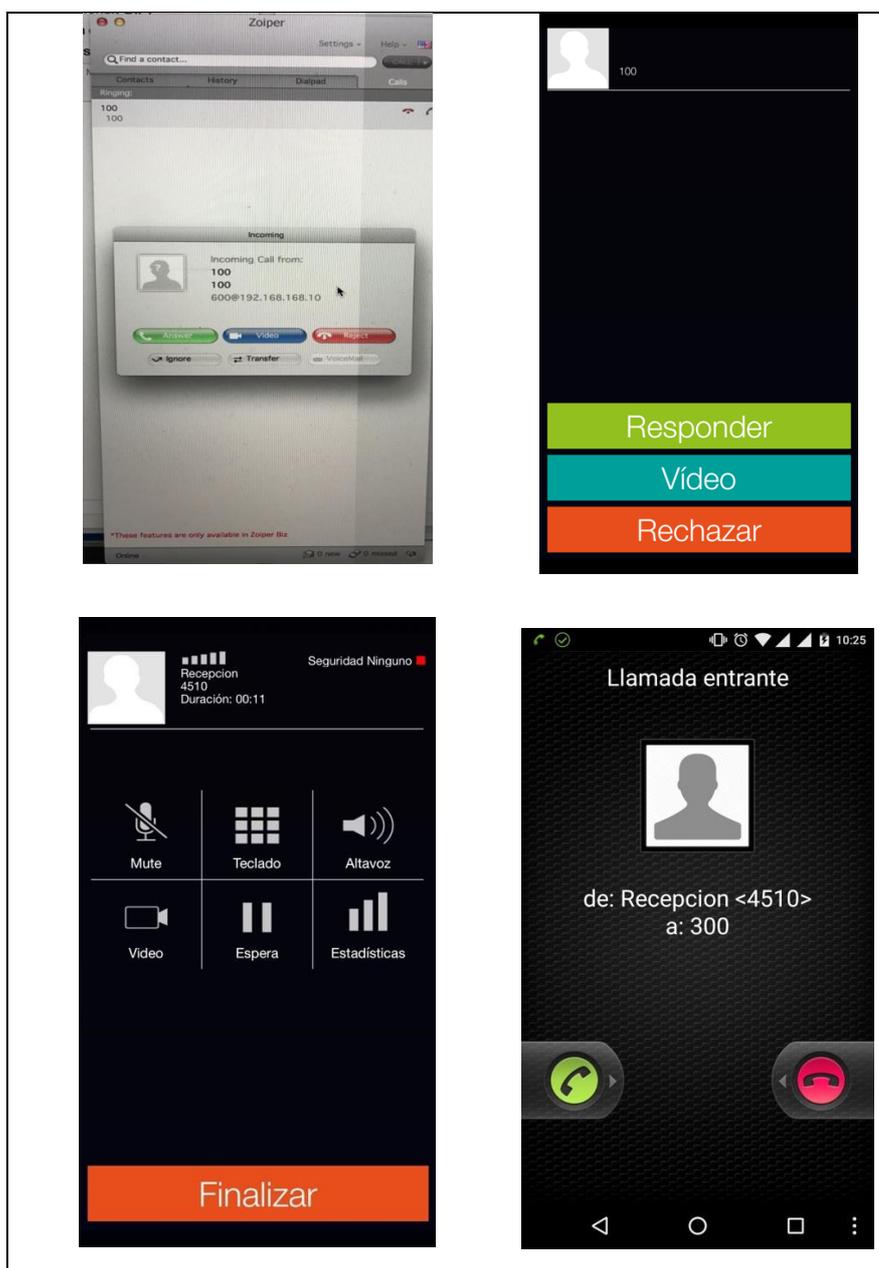


Figura 5. 30 Comprobación de los dispositivos dentro de la red WiFi.

En la *Figura 5.31*, se realiza la comprobación del estado y estatus de los dispositivos fijos y móviles que hacen uso de la red WiFi, verificando que se encuentran en línea con el servidor.



**Figura 5. 31** Verificación de comunicación entre usuarios.

En la *Figura 5.32*, se realiza la comprobación y las pruebas de comunicación inter usuarios con llamadas internas-externas efectuadas desde los dispositivos móviles.



**Figura 5. 32** Escaneo y monitorización en tiempo real de la interfaz de red del servidor de VoIP, saturación de canal de comunicación.

## CAPÍTULO 6

### 6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SERVIDOR DE VoIP

En este apartado se ejecutan todas las pruebas competentes a la implementación del aporte práctico, variando las opciones de configuración y parámetros de los servicios en el servidor para testear como responde a las solicitudes reales al gestionar los procesos correspondientes a una central IP, a la vez que brinda WiFi a la facultad de ingeniería electrónica y computación.

Se expresan los resultados mediante tablas comparativas donde se resumen un análisis basado en las decisiones técnicas derivadas de los ensayos realizados para demostrar qué configuración es la más adecuada al llevar a cabo la presente investigación.

#### 6.1 Estudio del comportamiento del servidor de VoIP

Para el estudio del comportamiento del Servidor de VoIP se ha considerado el desarrollo de varias rutinas que se deben ejecutar a nivel de software, así como la utilización de varias herramientas informáticas que ayudan a la observación, monitoreo, control de los estados y procesos que se generan internamente en el servidor; para tal efecto se ha realizado una investigación de todo lo que concierne a la implementación, ambientación, puesta en funcionamiento de un servidor de VoIP, para ser modelarlo sobre un Raspberry Pi.

Para lograr este objetivo es necesario fundamentar qué acoplamiento es el más adecuado para los elementos esenciales que conforman el sistema de VoIP, dado que el escenario de implementación es poco convencional se deben tomar correctivos con la administración del entorno en el que se desarrollan las pruebas posteriores a la implementación; lo primero que se debe hacer es la selección del sistema operativo de base el mismo que debe ser estable, ligero y totalmente

funcional, luego se procede con la instalación del software seleccionado, como siguiente paso se realiza la instalación del equipamiento lógico necesario para garantizar el máximo de compatibilidad entre el servidor y los accesorios que se vayan a emplear en sistema de VoIP.

En relación al estudio del comportamiento del Servidor de VoIP se define claramente su lineamiento sobre la ejecución de instalar una central telefónica Elastix que sea capaz de integrar con total transparencia todos los servicios necesarios, a la vez que brinda cobertura para clientes móviles en una red WiFi; se orienta a gestionar a los usuarios de la red y sus llamadas promoviendo un alto rango de movilidad según sea el despliegue de la red anfitriona dando un toque de independencia a escala, sí tomamos en cuenta que la central IPBX se basa en un Raspberry Pi.

Además, el estudio del comportamiento contempla parámetros de calidad de voz aplicado al principal servicio que ofrece el servidor en términos generales; entre las alternativas para este proyecto se realizó la instalación de diferentes servidores que provean la funcionalidad de un servidor de VoIP con el ánimo de establecer la mejor opción para el desarrollo del estudio propuesto; para tal efecto se examinó con mesura el rendimiento y comportamiento de cada uno de los servidores; a continuación se presentan los principales factores que inciden sobre la estructura, arquitectura y comportamiento de un servidor de VoIP según las condiciones establecidas particularmente en esta implementación.

### **6.1.1 AsteriskNow**

#### **Indicadores**

- Repositorios y equipamiento lógico para Sistema de Monitoreo SIP basado en *Analizador de tráfico en tiempo real (SNGREP)*.
- Sistema de Monitoreo y análisis de cobertura WiFi basado en *Analizador de espectro para redes inalámbricas (inSSIDer)* y *Wireshark e iftop (Herramienta de visualización de eventos en la interfaz de red)*.

- Instalación-programación en tiempo real con código bash para controlar los accesos al sistema mediante sesiones remotas a través de consola.
- Instalación y configuración del servicio basado en *HTOP (Herramienta al monitoreo y administración procesos en el servidor)*.
- Instalación de Sistema de Mensajería Instantánea basada en Jabber.

### **Servicios Habilitados**

- Servidor Web
- Servidor mail
- Servidor IPBX
- Cortafuegos
- Servidor Openfire

### **Rendimiento**

Medio

### **Comportamiento**

El servidor de VoIP basado en Asterisk Now sobre Raspberry Pi presenta un comportamiento moderado con relación a sus funciones básicas una vez terminado el acoplamiento y despliegue de todos los aditamentos de software necesario para el correcto desempeño de las aplicaciones e integración de los servicios requeridos para esta investigación.

Al inicio de la instalación y operaciones técnicas con esta distribución se observa que el Raspberry en fusión con AsteriskNow mantienen un nivel de procesamiento alto sin embargo su rendimiento y comportamiento se ven afectados a medida que se van agregando funciones al servidor; posterior a ello se el equipo dejo de responder hasta entrar en estado de inhibición, luego de instalar, configurar y habilitar el soporte para video llamadas, se procedió a desconectarlo-reconectarlo de la red eléctrica con el objeto de resetear su estado, debido a que no respondía a ningún tipo

de petición ya sea esta por línea de orden desde el teclado del servidor o a través de conexión remota de tipo *Secure SHell (SSH)*; posteriormente sus funciones eran lentas, los tiempo de respuesta altos en latencia y paquetes perdidos.

En consecuencia, el comportamiento obtenido de este servidor indica que su comportamiento no es idóneo para establecer una plataforma de comunicaciones de VoIP sobre Raspberry Pi.

### **6.1.2 Elastix basado en Fedora**

#### **Indicadores**

- Repositorios y equipamiento lógico para Sistema de Monitoreo SIP basado en SNGREP.
- Sistema de Monitoreo y análisis de cobertura WiFi basado en inSSIDer y Wireshark e iftop.
- Instalación-programación en tiempo real con código bash para controlar los accesos al sistema mediante sesiones remotas a través de consola.
- Instalación y configuración del servicio basado en HTOP.
- Instalación de Sistema de Mensajería Instantánea basada en Jabber.

#### **Servicios Habilitados**

- Servidor Web
- Servidor mail
- Servidor IPBX
- Cortafuegos
- Servidor Openfire

#### **Rendimiento**

Medio/Bajo

## **Comportamiento**

El servidor de VoIP basado en Fedora sobre Raspberry Pi presenta un comportamiento distinto al evidenciado en Asterisk, por defecto utiliza un administrador de eventos el mismo que se inicia en modo protegido utilizando la misma cantidad de memoria que Asterisk con todos sus servicios al máximo; este comportamiento se vuelve errático cuando a la distribución se le incorpora las instalaciones adicionales para obtener un servidor IPBX capaz de proveer múltiples funciones para el uso de sus clientes móviles, la medida cronométrica en el proceso de apagado, inicio y reinicio de la plataforma toman más tiempo de lo normal, por ejemplo de ello el Sistema Operativo tarda 5 m en apagarse y 11 m en iniciar, una vez que termina el proceso de iniciar tarda otros 4 m 33 s en levantar los servicios de telefonía IP y VoIP dejando en pantalla un mensaje de error en la inicialización del módulo de correo electrónico y por ende mantiene un elevado consumo de recursos haciendo que el servicio hacia los usuarios finales a través de la red WiFi sea lento y con pérdida de llamadas o conexiones erráticas entre las extensiones.

En términos generales el comportamiento del servidor especificado afecta al proceso de transporte de la información definidas por el administrador de servicios, se identifica que existe un procesamiento de forma independiente del protocolo de transporte; lo que hace ocasiona que los mensajes, invitaciones y registro de las cuentas SIP se vean retardadas en el inicio de sesión y en el establecimiento de comunicaciones del servidor, es decir: se realiza una llamada de la extensión 100 a la 200 el estado es erróneo visualizándose el estado de no encontrar el destino, pero se realiza la llamada de la extensión 200 a la extensión 100, sin embargo la llamada se ejecuta con éxito, a ello se asocia que el servicio de correos entre los usuarios no resuelve internamente los destinos debido a problema relacionados con el MTA de Postfix.

### **6.1.3 Elastix basado en CentOS uelastix**

#### **Indicadores**

- Repositorios y equipamiento lógico para Sistema de Monitoreo SIP basado en SNGREP.
- Sistema de Monitoreo y análisis de cobertura WiFi basado en inSSIDer y Wireshark e iftop.
- Instalación-programación en tiempo real con código bash para controlar los accesos al sistema mediante sesiones remotas a través de consola.
- Instalación y configuración del servicio basado en HTOP.
- Instalación de Sistema de Mensajería Instantánea basada en Jabber.

### **Rendimiento**

Alto

### **Comportamiento**

El comportamiento de este servidor es adecuado al entorno del Raspberry Pi, desde el proceso de instalación, acoplamiento e integración de los aditamentos requeridos para esta investigación, se procedió con las pruebas de error y todas fueron exitosas, se realizó saturación del canal de comunicación y el servidor respondió con tiempos de respuestas óptimos, se verifica que el nivel de compatibilidad con los archivos de configuración de las aplicaciones y servicios que no son nativos en el sistema operativo funcionan con alto rendimiento; una limitante en la versión de Elastix para Raspberry Pi es que mientras se ejecute en una tarjeta de memoria de 4 u 8 Gigabyte su funcionamiento suele ser lento e incluso en ocasiones se torna errático en el acceso vía Web y vía SSH esto se produce por coparse todo el espacio disponible con las actualizaciones, agregaciones de paquetes y repositorios lo cual requiere de espacio en disco, otro factor que limita las funciones del servidor de VoIP en esta versión es el tamaño reducido de las particiones, debido a que de esta forma no se logra realizar el despliegue e instalación de las aplicaciones y servicios nativos, por ello fue necesario aumentar a 32 Gigabyte la capacidad de la memoria SD del

dispositivo a fin de poder administrar y aumentar el tamaño de las particiones. Una vez realizado el proceso de redimensionamiento el servidor mejoró notablemente su comportamiento, velocidad y funciones.

Con relación a los errores que pueda presentar Elastix, así como sus incidencias se hace uso del orden “tail” para observar en tiempo real todo lo concerniente a la actividad del servidor en especial cuando se están ejecutando las llamadas.

```
tail -f /var/log/asterisk/full
```

En el caso de querer observar solo los errores, es recomendable el siguiente orden:

```
tail -f /var/log/asterisk/full | grep ERROR
```

En consecuencia, se describe que el comportamiento de Elastix basado en CentOS sobre Raspberry Pi es completamente idóneo para establecer un Servidor de VoIP, ofreciendo estabilidad, compatibilidad de paquetería, equipamiento lógico para el desarrollo, instalación y configuración de soluciones informáticas sobre su plataforma.

#### **6.1.4 Elastix basado en Debian**

##### **Indicadores**

- Repositorios y equipamiento lógico para Sistema de Monitoreo SIP basado en SNGREP.
- Sistema de Monitoreo y análisis de cobertura WiFi basado en inSSIDer y Wireshark e iftop.
- Instalación-programación en tiempo real con código bash para controlar los accesos al sistema mediante sesiones remotas a través de consola.
- Instalación y configuración del servicio basado en HTOP.
- Instalación de Sistema de Mensajería Instantánea basada en Jabber.

##### **Rendimiento**

Alto

### **Comportamiento**

El comportamiento de este servidor es una mezcla de potencia y practicidad gracias a que dota de robustez, mayor rapidez a las funciones y servicios de Asterisk que se encuentran embebidos en Elastix para Raspberry Pi basado en Debian.

Si se parte del hecho que Asterisk es una aplicación pensada para entornos Linux la misma que para su funcionamiento necesita del consumo de memoria RAM, Disco Duro, Procesador y demás accesorios propios de un escenario para servidores de VoIP, se transforma en un reto lograr que esta herramienta funcione correctamente en entornos reducidos no solo en espacio de disco sino en arquitectura y hardware; por ello se debe tomar en cuenta que el proyecto basado en Debian hace posible el mantenimiento de la plataforma a través de actualizaciones básicas a través del orden `apt-get` el mismo que se encarga de simplificar las acciones del administrador en modo consola, se verifica un menor consumo de disco duro o en su defecto en la tarjeta SD, existe mayor control en la configuración para evitar errores por discontinuación de repositorios, se prevalece la antigüedad de paquetería estables, no se considera ambiente gráfico para hacer que su rendimiento sea más veloz logrando reducir el consumo de recursos hasta un 70%.

Sin embargo, mientras se hacían la pruebas necesarias con este servidor se produjo un error que no pudo ser superado por la plataforma basada en Debian una vez que se implementó el monitoreo SIP basado en SNGREP, pese a que se utilizaba el repositorio autorizado de irontec, fue necesario ubicar archivos desactualizados y compilarlo manualmente para lograr su ejecución, posterior a ello se tuvo que agregar el GitHub de irontec/sngrep para revisar el código fuente, compilar y ejecutar para obtener el monitoreo deseado; sin duda este es un hecho que afecta al comportamiento del servidor, porque fue necesario realizar instalaciones y actualizaciones del sistema operativo para el acoplamiento lógico de la herramienta, así como

el soporte para la ejecución de herramienta inSSIDer lo que ocasionó que el rendimiento y comportamiento del servidor se vea afectado por la reducción de espacio en memoria RAM-memoria SD afectado directamente al procesador del Raspberry Pi.

En consecuencia, se describe al comportamiento de este servidor como adecuado para un sistema de VoIP mientras no se agreguen aplicaciones que puedan comprometer su rendimiento y funcionamiento con relación a las llamadas entre los usuarios internos o externos, correos electrónicos, mensajería instantánea, buzón de mensajes de voz y demás funciones relacionadas con la IPBX sobre el Raspberry Pi.

### **6.1.5 FreePBX**

#### **Indicadores**

- Repositorios y equipamiento lógico para Sistema de Monitoreo SIP basado en SNGREP.
- Sistema de Monitoreo y análisis de cobertura WiFi basado en inSSIDer y Wireshark e iftop.
- Instalación-programación en tiempo real con código bash para controlar los accesos al sistema mediante sesiones remotas a través de consola.
- Instalación y configuración del servicio basado en HTOP.
- Instalación de Sistema de Mensajería Instantánea basada en Jabber.

#### **Rendimiento**

Bajo

#### **Comportamiento**

Este servidor se encuentra construido de forma modular bajo la distribución de Linux CentOS como plataforma base, con esta idea se pretende controlar por separado desde el sistema operativo la fusión entre Linux, el servidor Web Apache, el servidor de base de datos con la herramienta

MySQL y el soporte técnico para el despliegue de los siguientes lenguajes de programación Perl, PHP, o Python; esta combinación se la realiza con la meta de obtener una plataforma web con ambiente de desarrollo, lo cual resulta hasta cierto punto beneficioso para un administrador de sistema, en base a que el enfoque que se le otorga al escenario propuesto es apto para el despliegue de soluciones informáticas que cumplan con las necesidades de establecer un sistema de VoIP o de telefonía IP.

Por esta razón FreePBX integra Asterisk con una interfaz gráficas intuitiva en un 80% de sus funcionalidades a través de versiones para arquitecturas de 32 y 64 bits; sin embargo, para efectos de prueba se utilizó la versión de 32 bits como la opción más óptima para el acoplamiento con el Raspberry Pi.

Una vez que el servidor estaba en producción se procedió a la instalación y configuración del servidor de VoIP con el establecimiento de las reglas y políticas para el uso de los servicios a través de la red WiFi, el establecimiento de los usuarios con sus respectivas cuentas SIP, IAX2, extensiones remotas, clientes móviles, a más del respectivo análisis y monitoreo del servidor.

En consecuencia, se define el comportamiento de este servidor como no adecuado para su implementación en Raspberry Pi debido a las siguientes causas:

- Se generó un problema de comunicación en la red WiFi para los clientes móviles; de cada 10 extensiones creadas y registradas solo funcionaban 4, de las cuales 3 podían realizar llamadas a otros usuarios, mientras la 4ta extensión solo podía hacer llamadas, pero en ningún momento lograba recibir una llamada entrante.
- Posteriormente las extensiones dejaron de funcionar al extremo de auto desconectarse de la central; en el intento de acceder desde el servidor a las extensiones se observaba el estado de los equipos como inalcanzable

- El servidor una vez que se logró superar los inconvenientes de conectividad, entro en estado de inhibición cuando se implementó el soporte para video llamadas y se ejecutó al mismo tiempo un monitor de actividades basado en la herramienta Wireshark.
- Se evidencian procesos erráticos en el sistema operativo los mismos que afectan al comportamiento del servidor de VoIP, en especial afectan a Asterisk.
- El proxy interno del servidor inhabilitaba las comunicaciones, bloqueaba las peticiones entrantes y salientes dado que determinaba como una amenaza las funciones de Asterisk, así como el funcionamiento del monitor SIP SNGREP.

Las actualizaciones y repositorios de la plataforma se colocaron en estado corrupto debido a instalación de paquetería adicional para el soporte lógico de las herramientas de monitoreo, lo cual indica que la incompatibilidad de FreePBX con este tipo de ambientes sobre Raspberry Pi.

#### **6.1.6 Issabel**

##### **Indicadores**

- Repositorios y equipamiento lógico para Sistema de Monitoreo SIP basado en SNGREP.
- Sistema de Monitoreo y análisis de cobertura WiFi basado en inSSIDer y Wireshark e iftop.
- Instalación-programación en tiempo real con código bash para controlar los accesos al sistema mediante sesiones remotas a través de consola.
- Instalación y configuración del servicio basado en HTOP.
- Instalación de Sistema de Mensajería Instantánea basada en Jabber.

##### **Rendimiento**

Bajo

### **Servicios Habilitados**

- Servidor Web
- Servidor mail
- Servidor IPBX
- Cortafuegos
- Servidor Openfire

### **Comportamiento**

Este servidor presenta un comportamiento moderado y al mismo tiempo un bajo rendimiento debido a que su versionamiento no está pensado para desplegarse en ambientes reducidos como el Raspberry Pi, por ello fue necesario ocupar todo el espacio de la memoria SD de 32 Gigabyte para su instalación, además de mayorar el consumo de hardware, razón por la cual el servidor de VoIP sobre Raspberry Pi en esta plataforma no fue ideal para realizar pruebas, en base a que su funcionamiento fue totalmente lento y errático en las comunicaciones. No se llegó a concretar una sola llamada; el proceso de registro de las extensiones y demás cuentas SIP / IAX2 creadas en el servidor no fueron aceptadas en el momento de asociar los dispositivos a las cuentas destinadas, debido a que el servidor internamente tarda en reconocer la configuración debido a la lentitud producida entra la fusión del Servidor y el Software propuesto.

En consecuencia, se define al comportamiento de este servidor como no adecuado para su utilización en Raspberry Pi hasta que exista una versión específica para este tipo de dispositivos de características reducidas.

Basado en el análisis comparativo anteriormente descrito, se expresa claramente las razones por la cual se escogió la distribución de Elastix basada en CentOS, entre todas las pruebas realizadas para obtener el

mejor criterio de instalación, configuración, puesta a punto del servidor de VoIP basado en Raspberry Pi, se detectó, determinó las variaciones, factores que inciden en el rendimiento y comportamiento del servidor, se implementó, se puso a prueba varias distribuciones de software libre para Telefonía IP y VoIP; del análisis efectuado a cada instancia se pudo comprobar-constatar la mejor opción, siendo la más recomendable para el desarrollo de esta investigación.

Es así que se optó por Elastix, gracias a que esta herramienta en términos generales provee del soporte necesario, la compatibilidad requerida para el acoplamiento e integración tanto de aplicaciones como del código fuente requerido para la determinación y demostración del estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi.

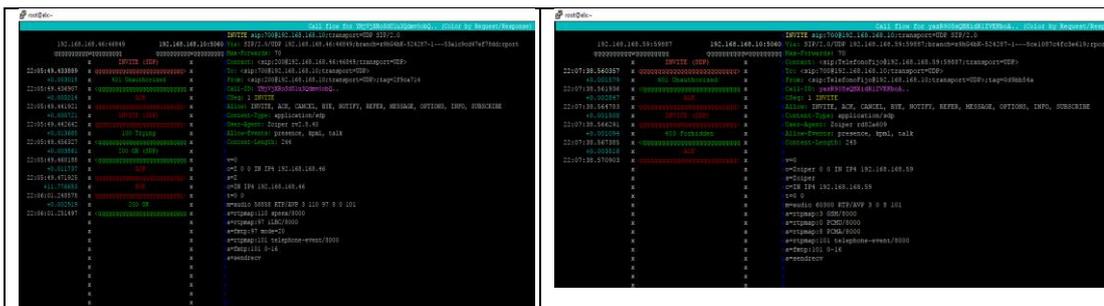
El comportamiento que se describe para este servidor es totalmente adecuado al entorno que ofrece el Raspberry Pi, basado en que su operatividad no compromete en ningún aspecto la integridad y legibilidad del sistema base, repositorios, archivos de instalación o configuración del sistema operativo; pese a todas las modificaciones realizadas en el servidor, los tiempos de respuesta se mantuvieron con tiempos de respuesta óptimos, finalmente la implementación del escenario se llevó a cabo sin ningún problema.

## 6.2 Estado de las comunicaciones inter usuarios

Line	Method	SIP From	SIP To	Message	Source	Destination	Call State	X-Call-ID	Date	Time	SIP From User	To
1	REGISTER	192.168.168.10	192.168.168.54	4	192.168.168.54:59887	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:05:20	Unknown	UDP
2	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	5	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887	IN CALL		2017/07/21	22:05:29	600	UDP
3	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887			2017/07/21	22:05:40	Unknown	UDP
4	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887			2017/07/21	22:05:40	Unknown	UDP
5	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887			2017/07/21	22:05:40	Unknown	UDP
6	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887			2017/07/21	22:05:40	Unknown	UDP
7	REGISTER	192.168.168.10	192.168.168.54	20	192.168.168.46:46849	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:05:45	200	UDP
8	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:05:45	Unknown	UDP
9	NOTIFY	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:05:45	Unknown	UDP
10	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	9	192.168.168.46:46849	192.168.168.10:5060	COMPLETED		2017/07/21	22:05:49	200	UDP
11	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:05:50	Unknown	UDP
12	NOTIFY	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:05:50	Unknown	UDP
13	REGISTER	192.168.168.10	192.168.168.54	4	192.168.168.59:59887	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:06:42	Unknown	UDP
14	REGISTER	192.168.168.10	192.168.168.54	4	192.168.168.59:59887	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:06:24	Unknown	UDP
15	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:06:33	Unknown	UDP
16	NOTIFY	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:06:33	Unknown	UDP
17	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887			2017/07/21	22:06:40	Unknown	UDP
18	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:06:40	Unknown	UDP
19	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.53:59887			2017/07/21	22:06:40	Unknown	UDP
20	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:06:40	Unknown	UDP
21	REGISTER	192.168.168.10	192.168.168.54	4	192.168.168.59:59887	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:07:03	Unknown	UDP
22	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	9	192.168.168.46:46849	192.168.168.10:5060	COMPLETED		2017/07/21	22:07:08	200	UDP
23	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:07:19	Unknown	UDP
24	NOTIFY	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:07:19	Unknown	UDP
25	REGISTER	192.168.168.10	192.168.168.54	4	192.168.168.59:59887	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:07:38	Unknown	UDP
26	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	9	192.168.168.46:46849	192.168.168.10:5060	COMPLETED		2017/07/21	22:07:37	200	UDP
27	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	6	192.168.168.59:59887	192.168.168.10:5060	REJECTED		2017/07/21	22:07:38	Unknown	UDP
28	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887			2017/07/21	22:07:40	Unknown	UDP
29	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:07:40	Unknown	UDP
30	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.53:59887			2017/07/21	22:07:40	Unknown	UDP
31	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.62:54908			2017/07/21	22:07:40	Unknown	UDP
32	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	5	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887	IN CALL		2017/07/21	22:08:00	700	UDP
33	REGISTER	192.168.168.10	192.168.168.54	4	192.168.168.59:59887	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:08:19	Unknown	UDP
34	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:08:13	Unknown	UDP
35	NOTIFY	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.46:46849			2017/07/21	22:08:13	Unknown	UDP
36	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	9	192.168.168.46:46849	192.168.168.10:5060	IN CALL		2017/07/21	22:08:25	200	UDP
37	INVITE	192.168.168.10	192.168.168.54	7	192.168.168.10:5060	192.168.168.62:54908	IN CALL		2017/07/21	22:08:25	300	UDP
38	PUBLISH	192.168.168.10	192.168.168.54	1	192.168.168.62:54908	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:08:25	300	UDP
39	PUBLISH	192.168.168.10	192.168.168.54	1	192.168.168.62:54908	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:08:25	300	UDP
40	PUBLISH	192.168.168.10	192.168.168.54	1	192.168.168.62:54908	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:08:30	300	UDP
41	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.54:59887			2017/07/21	22:08:40	Unknown	UDP
42	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.10:5060			2017/07/21	22:08:40	Unknown	UDP
43	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.53:59887			2017/07/21	22:08:40	Unknown	UDP
44	OPTIONS	192.168.168.10	192.168.168.54	2	192.168.168.10:5060	192.168.168.62:54908			2017/07/21	22:08:40	Unknown	UDP

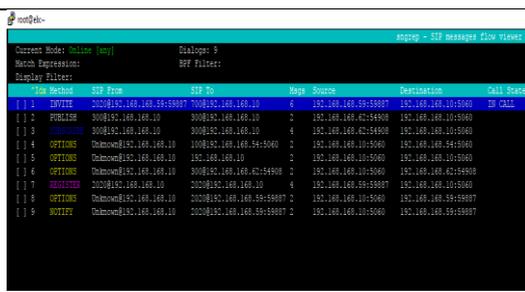
Figura 6. 1 Comunicaciones Inter Usuarios a través del Protocolo SIP.

Para realizar la explicación del estado de las comunicaciones inter usuarios fue necesario realizar la implementación de la herramienta SNGREP en el servidor de VoIP; en el caso de SNGREP se trata de un instrumento de código abierto desarrollada en lenguaje C y escrita por Ivan Alonso miembro activo del proyecto de repositorios IRONTEC, esta aplicación cumple la función de visualizar el comportamiento interno del servidor de VoIP en base al estado de las comunicaciones inter usuarios a nivel de trazas y paquetes SIP, tal como se aprecia en la *Figura 6. 1*; en la *figura 6.2* se explica en forma detallada el desarrollo de las comunicaciones inter usuarios previo al establecimiento de una conversación.

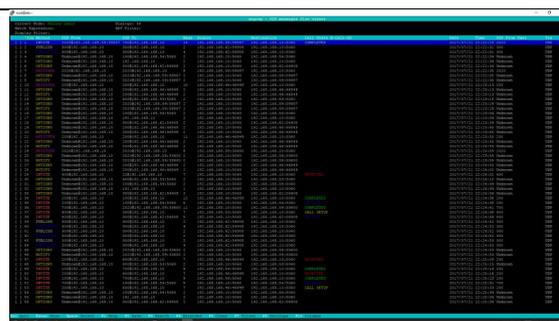


Captura de la Traza SIP SDP entre dos usuarios de la red

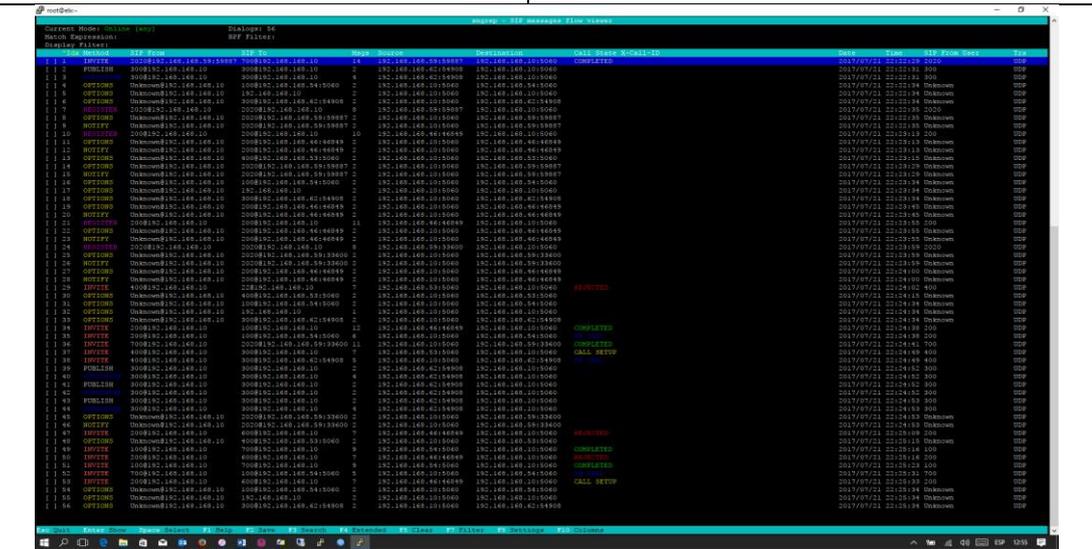
Captura del establecimiento de parámetros para la señalización del canal de comunicación entre dos usuarios de la red.



Captura de las incidencias producidas entre dos usuarios de la red previo al establecimiento de la conexión punto a punto.



Captura del historial de las comunicaciones establecidas entre todos los usuarios SIP e IAX2 de la red



Monitoreo general de las comunicaciones inter usuarios a través de las conexiones punto a punto entre todos los usuarios de la red de manera concurrente.

Figura 6. 2 Interfaz del Monitor SIP basado en la herramienta SNGREP para la visualización del estado del estado de las comunicaciones inter usuarios.

En la *tabla 21* se explica de mejor forma como se desarrollan las comunicaciones inter usuarios y por ende las incidencias que se suscitan en cada acción previo al establecimiento de una conversación entre usuarios.

<b>USUARIO A</b>	<b>ROUTER/PROXY INTERNO</b>	<b>RASPBERRY PI</b>	<b>ROUTER/PROXY INTERNO</b>	<b>USUARIO B</b>
<i>Registro</i>	<i>Validación</i>	<i>Registra dirección</i>		
<i>Invitación</i>	<i>Ok</i>		<i>Resuelve la dirección de destino</i>	<i>Invitación recibida</i>
<i>OK</i>	<i>Comunicación en Progreso</i>			<i>OK</i>
<i>ack</i>	<i>ack</i>	<i>ack</i>	<i>ack</i>	<i>ack</i>
<i>Raspberry Pi establece enlace punto a punto entre los dos usuarios.</i>				
<i>Conversación</i>				
<i>adiós</i>	<i>Finaliza la conversación</i>			<i>adiós</i>

**Tabla 21** Desarrollo de las comunicaciones inter usuarios en el servidor implementado

Para el caso anteriormente citado según las figuras adjuntas en la *tabla 21* se explica lo siguiente:

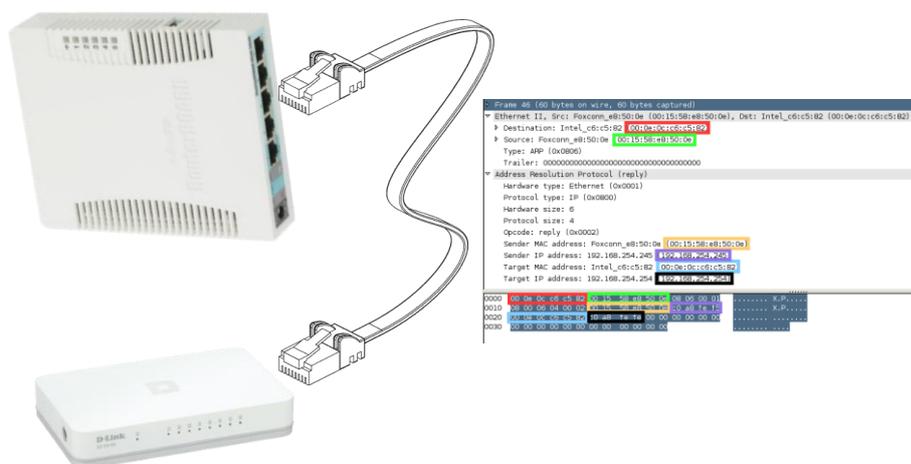
Un usuario desea comunicarse con otro usuario de la red, para este efecto solo es necesario marcar el número de la extensión con la que se desea hablar desde su teléfono IP o teléfono celular si el caso lo amerita, en ese instante la cuenta que se haya registrado en la extensión local envía un mensaje SIP de tipo INVITE al servidor de VoIP solicitándole el establecimiento de una sesión con la extensión del usuario a la cual desea llamar en este caso la extensión de destino; el mensaje enviado encapsula los siguientes datos: recibe una trama con las etiquetas del segmento definido según la red de datos en la que se encuentren conectados los equipos a nivel 2 la cual a su vez contiene la dirección IP de origen

y la dirección IP de destino adjuntando un mensaje de difusión conocido como Broadcast con el objetivo de censar todos los puertos físicos que se encuentran asociados al switch de la red descubriendo de esta manera los puertos que se encuentran ocupados y los que no lo están.

Luego el servidor basado en Raspberry Pi recibe la petición que proviene de la extensión local para comunicarse con la extensión remota, como resultado de esta acción el servidor procede con la búsqueda y localización de la extensión de destino siempre que la misma se encuentre registrada en la base de datos del servidor.

Una vez que la extensión a la que se desea llamar ha sido hallada el servidor automáticamente envía un mensaje de tipo INVITE con el objetivo de colocar en la señal enviada un protocolo que se encargara de describir la sesión, así como los parámetros que se vayan a utilizar en la inicialización de la conversación entre ambos extremos; el protocolo que se emplea lleva el nombre de SDP descrito por la *IETF (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet)* en la RFC 4566; este protocolo en términos generales cumple la función de describir las sesiones donde intervengan el uso de comunicaciones multimedia (Voz, Datos y Video).

Posteriormente el servidor se encarga del envío del mensaje de tipo SIP/SDP hacia la extensión remota en la que se solicita establecer una sesión con la extensión local para lo cual existe una respuesta emitida a través del protocolo *UDP (Protocolo de Datagramas de Usuario)*, el mismo que utiliza el puerto de comunicación 5060 transmitiendo paquetes SDP con la siguiente información: Direcciones IP, puertos utilizados, CODEC que serán utilizados en la comunicación hacia el equipo de nivel 2 o Switch; como paso adicional en la negociación los datos son enviados a través del encaminador el cual se encarga de recibir la trama que proviene del Switch para ser resuelta a nivel de red o nivel 3 tal como se observa en la *Figura 6.3*.



**Figura 6. 3** Conexión LAN que va por cable UTP (Cable de Par Trenzado) desde el Switch hacia el encaminador, Captura de la trama que se genera a nivel 2 y la recibe el encaminador para ser resuelta a nivel 3.

La función del encaminador es de analizar las tramas recibidas de acuerdo al etiquetado adjunto priorizando las direcciones IP de origen y destino las mismas que a su vez son comparadas en la tabla de encaminamiento del equipo para su respectivo encaminamiento encapsulando la trama y enviándola como paquete IP por el puerto 5060 con ayuda del protocolo UDP hacia su red de destino.

En el caso que existiera más de un encaminador en la interconexión de redes de datos el siguiente encaminador se encargaría de des-encapsular el datagrama IP recibido y transmitirlo hacia la interfaz de nivel 2 en la red de destino; en el otro extremo el Switch se encarga de recibir la trama enlazándola hacia la extensión de destino, para este efecto la extensión de destino recibe el mensaje de INVITE proveniente del servidor de VoIP con el parámetro SIP/SDP solicitando establecer una comunicación entrante a través de una sesión.

Para este instante la extensión de destino recibe la llamada del usuario que se encuentra en el otro extremo de la red, como evidencia de este proceso se escucha el sonido de llamada entrante o (Ringing) en el teléfono IP o dispositivo móvil donde se haya configurado la cuenta SIP o IAX2.

Es así como se da inicio de la visualización e incidencias desde y hacia el servidor de VoIP con el envío y recepción de mensajes de estatus previo al inicio de

llamadas tal como se aprecia en las Figuras 6.4 y 6.5 donde se visualiza el comportamiento del servidor frente a tales solicitudes.

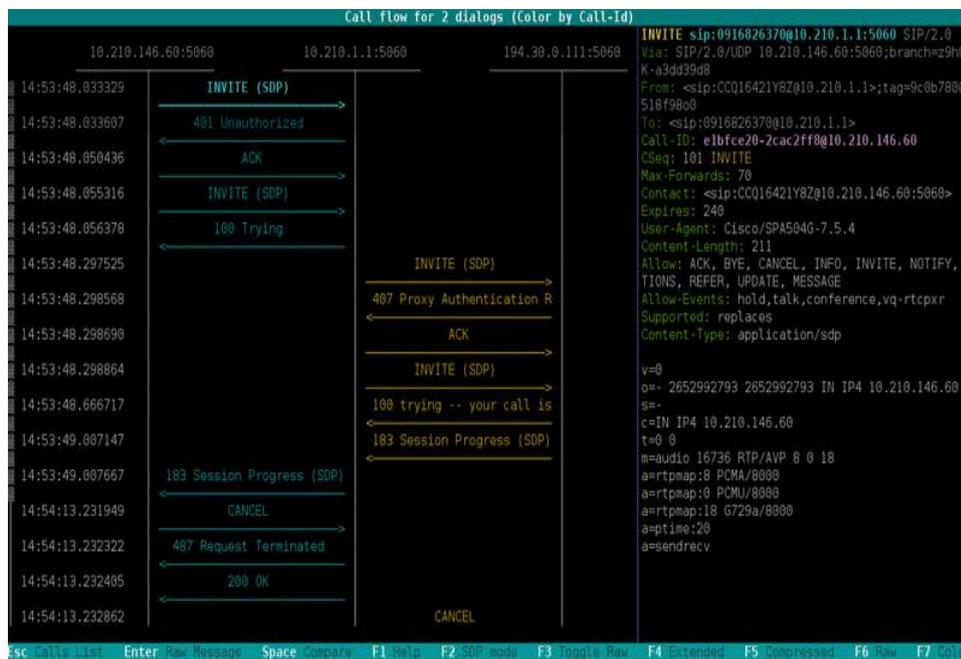


Figura 6. 4 Captura del comportamiento de un proceso de inicio de sesión entre dos usuarios de la red.

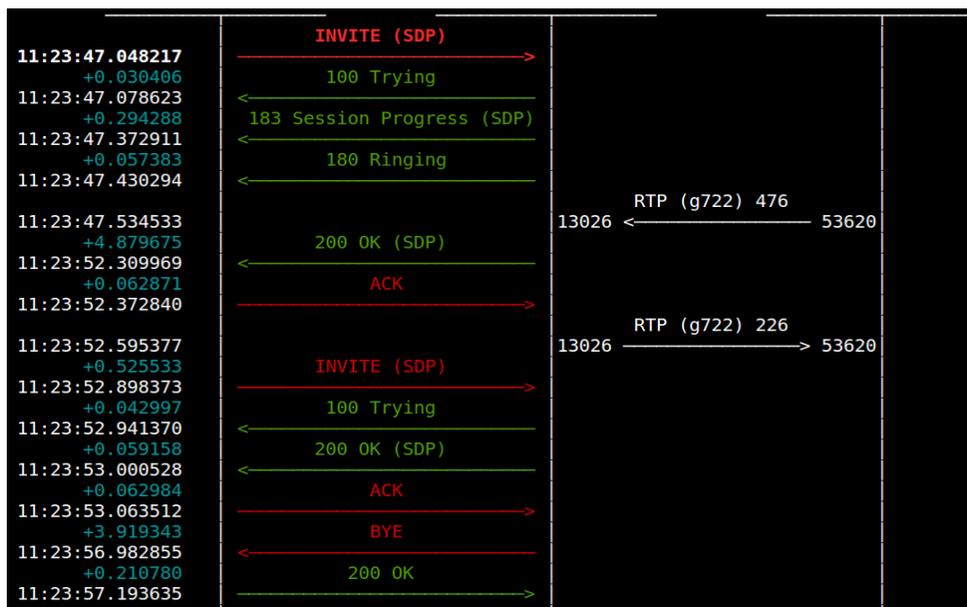


Figura 6. 5 Captura de las incidencias suscitadas en la previa y establecimiento de un enlace punto a punto entre dos usuarios de la red.

Se evidencia la presencia del protocolo SDP en la descripción de la sesión, Nótese la codificación que se define para los distintos estados en la señalización del canal de comunicación. Los mensajes desde y hacia el servidor se definen de la siguiente manera, a través de la *tabla 22 y 23*.

GRUPO	ESTATUS	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
Informativo	Estatus	Mensaje de INVITE (SDP) o tratando de conectarse	100
	Estatus	Sonido de llamada (Ringing)	180
	Estatus	Reenvío de llamadas	181
	Estatus	Llamada en cola	182
	Estatus	Sesión en progreso	401
Éxito / Ok	Estatus	Conexión establecida (OK)	200
	Estatus	Conexión aceptada	202
	Estatus	Opción múltiple	300
Redirección	Estatus	Movido permanentemente	301
	Estatus	Traslado permanentemente	302
	Estatus	Uso de Proxy	305
	Estatus	Servicio alternativo	380
	Error del cliente	Estatus	Petición incorrecta
Estatus		Mensaje de no autorizado (Unauthorized)	401
Estatus		Requiere autorización (Forbidden)	403
Estatus		Mensaje de no encontrado	404
Estatus		Mensaje de método no permitido	405
Estatus		Mensaje de no aceptable	406
Estatus		Mensaje de autenticación de poder (Proxy)	407
Estatus		Mensaje de tiempo agotado (Request Timeout)	408
Estatus		Mensaje de sesión contador de intervalos demasiado pequeño	422
Estatus		Mensaje de intervalo demasiado breve	423
Estatus		Mensaje de no disponible temporalmente	480
Estatus	Mensaje de diálogo / Transacción no existe	481	

**Tabla 22** Descripción de los mensajes desde y hacia el servidor en función del Estatus.

GRUPO	ESTATUS	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
	Estatus	Mensaje de demasiados saltos	483
	Estatus	Mensaje de usuario ocupado	486
	Estatus	Mensaje de solicitud Terminado	487
	Estatus	Mensaje de error interno del servidor (Internal Server)	500
	Estatus	Mensaje de no implementado	501
	Estatus	Mensaje de puerta de enlace no valida	502
Error del servidor	Estatus	Mensaje de servicio no disponible	503
	Estatus	Mensaje de puerta de enlace de tiempo de espera	504
	Estatus	Mensaje de versión no compatible	505
	Estatus	Mensaje demasiado grande	513
	Estatus	Mensaje de condiciones previas fracaso	580
	Estatus	Mensaje de ocupado en todas partes	600
	Estatus	Mensaje de declinar	603
	Estatus	Mensaje de no existe en ningún lado	604
	Estatus	Mensaje de no aceptable	606
Error global	Estatus	Mensaje de puerta de enlace de tiempo de espera	504
	Estatus	Mensaje de versión no compatible	505
	Estatus	Mensaje demasiado grande	513
	Estatus	Mensaje de condiciones previas fracaso	580
	Estatus	Mensaje de condiciones previas fracaso	580

**Tabla 23** Descripción de los mensajes desde y hacia el servidor en función del Estatus.

Los mensajes que se van desde el servidor hacia la extensión son mensajes de tipo SIP - ACK o de acuse de recibo tal como se describe en la RFC 3621 de la IETF, cabe indicar que una vez que la llamada fue establecida o se realizó sesión entre los dos extremos, el servidor deja de intervenir en la comunicación entre las extensiones para establecer un enlace punto a punto de tipo bidireccional en la cual converge la presencia del protocolo RTP el mismo que va encapsulado durante la transmisión con ayuda del protocolo UDP, el mismo que se encarga de inicializar y habilitar en forma aleatoria un puerto a la vez entre 1000 y el 2000

aunque esto puede variar de acuerdo a las configuraciones del administrador del servidor de VoIP.

Se debe tomar en cuenta que para una adecuada transferencia de la voz en forma bidireccional el puerto UDP debe estar habilitado o abierto en ambos extremos de la red caso contrario la voz solo viajará en un solo sentido dependiendo del lado que tenga habilitado el puerto UDP; lo cual significa que uno de los dos usuarios SIP solo uno podrá escuchar.

En cuanto al enlace punto a punto, este finaliza una vez que la llamada entre las extensiones termina o en su defecto uno de las dos cuelgas la llamada; en este caso las extensiones generan un mensaje SIP/SDP al servidor, a la vez controla que el canal quede desocupado a través de las señales de estatus SIP BYE y estatus con código 200 OK entre el servidor y las extensiones.

En consecuencia, se define al estado de las comunicaciones inter usuarios como una cadena de eventos desarrollados con total normalidad en el inicio de operaciones del servidor de VoIP basado en Raspberry Pi.

### **6.3 Análisis y monitoreo de tráfico del servidor de VoIP**

Para el análisis y monitoreo permanente del tráfico generado por el servidor de VoIP fue necesario implementar de forma local en el servidor la herramienta de monitoreo llamada IFTOP, de control HTOP, de manera externa anclado a un equipo conectado directamente a la red de datos la herramienta Solarwinds ambas con el objetivo de transparentar y comparar los resultados obtenidos en el análisis de forma directa sobre las actividades del servidor en la red.

El servidor de VoIP propuesto consiste en una central IPBX basada en Raspberry Pi con una sola línea conectada a la PSTN atendiendo en primera instancia a 8 usuarios internos, posteriormente a un máximo de 40 usuarios creados con el objetivo de forzar al máximo al equipo y comprobar su capacidad de operación, así como el límite de usuarios y llamadas que este pueda soportar al mismo tiempo.

En cuanto al límite de usuarios se comprueba que el servidor de VoIP basado en Raspberry Pi permite albergar la mayor cantidad posible de extensiones (300)

SIP/IAX2, demás configuraciones pertinentes, sin embargo, para esta investigación se procedió con un mínimo de 8 y un máximo de 40 extensiones.

En cuanto a su capacidad de operación de Raspberry Pi se comprobó que hasta un máximo de 10 llamadas concurrentes el equipo trabaja sin mayor problema, la calidad del servicio es totalmente optima, así como el consumo de recurso del servidor es moderado; posteriormente se realizaron pruebas incrementado el nivel de llamadas, así como la utilización de los diferentes servicios del servidor; se constató que el servidor a partir de 27 llamadas convergentes entra en un proceso de saturación debido al sobrecalentamiento de su CPU y consumo del total de la memoria el mismo que es producido por la demanda de servicios de la mayor parte de los clientes móviles de la red WiFi, dichos procesos se muestran en las Figuras 6.6 y 6.7.

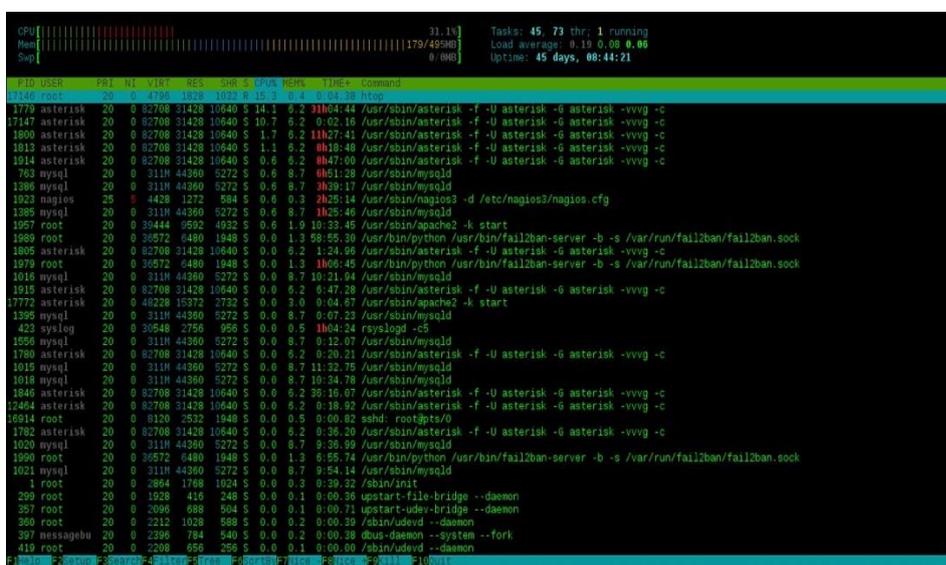
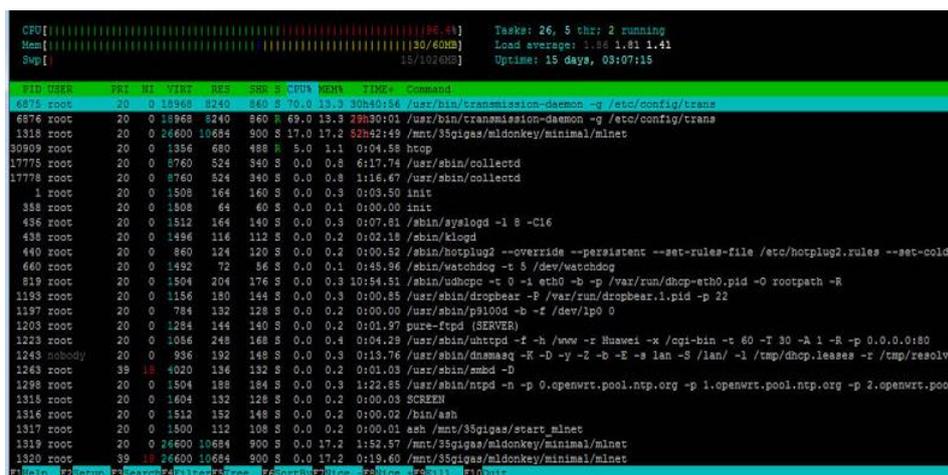


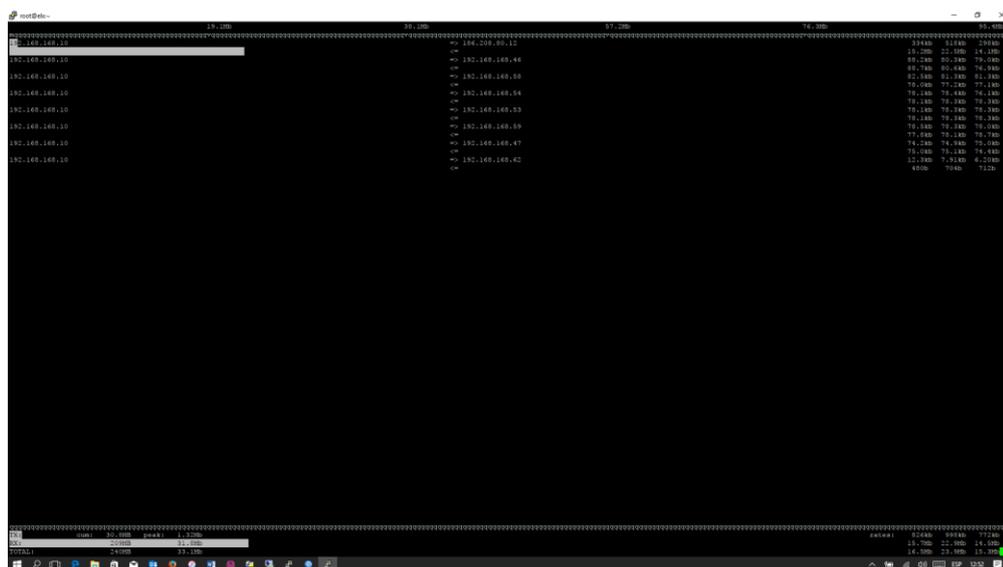
Figura 6. 6 Niveles de consumo de los recursos del servidor VoIP.

Se realizó la captura con la herramienta HTOPC en línea de órdenes para visualizar el comportamiento del servidor en las ambas figuras.



**Figura 6. 7** Máximo de recursos utilizados en el servidor de VoIP basado en Raspberry Pi.

Con relación al análisis y monitoreo del tráfico se muestra a continuación las gráficas en las cuales se evidencian el comportamiento obtenido del análisis realizado a los eventos suscitados en el servidor.

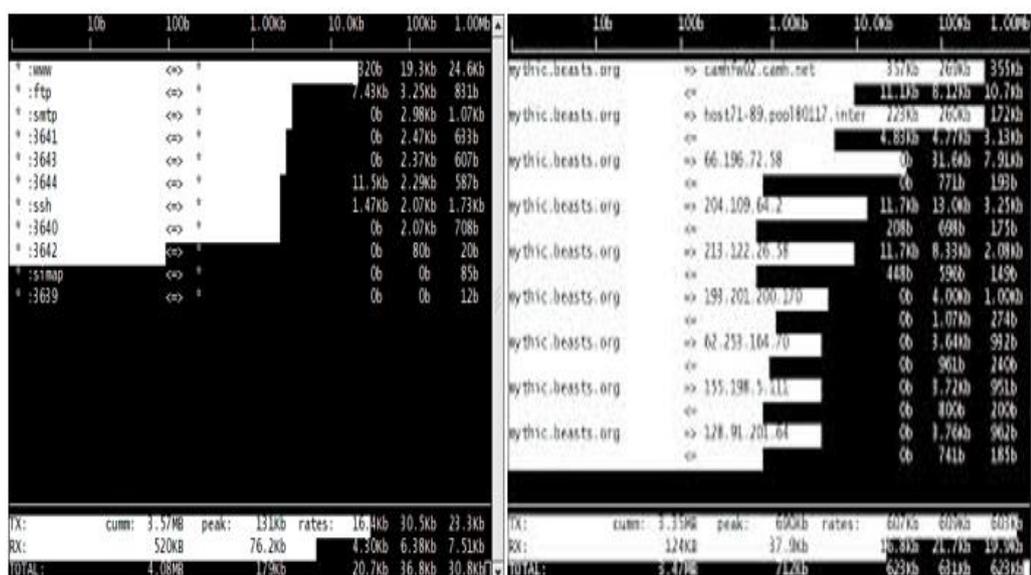


**Figura 6. 8** Monitoreo realizado con la herramienta IFTOP con una carga equivalente a 7 usuarios conectados al servidor y haciendo uso del sistema telefónico.

En la *Figura 6.8* se muestra claramente que el uso del ancho de banda es mínimo lo cual implica que las condiciones operativas del servidor de VoIP son óptimas para el desempeño; para efectos de prueba se cuenta con un ancho de banda de

2 Mbps para el acceso a Internet e internamente se ha configurado un segmento de red con un ancho de banda de 2 Mbps.

Posteriormente se realizaron pruebas con todos los usuarios del servidor conectados, mientras se ejecutan múltiples acciones al mismo tiempo con la finalidad de visualizar el comportamiento interno del equipo en base al consumo de ancho de banda y definir el nivel de prestación del Raspberry Pi con la probabilidad que el sistema se encuentre totalmente ocupado, este ensayo se describe en la *Figuras 6.9*.



**Figura 6. 9** Captura de tráfico por puertos utilizados y monitoreo del ancho de banda de acuerdo a los requisitos de los usuarios.

Como un método de comprobación de las incidencias que se han registrado con la herramienta IFTOP, se procedió a realizar en forma paralela el monitoreo de la red haciendo énfasis en la interfaz de red del servidor de VoIP en la cual se registran múltiples actividades concernientes a las comunicaciones internas y externas del servidor; para el efecto se utilizó la herramienta Solarwinds la misma que permite realizar configuraciones para el análisis de tráfico en una red LAN, este caso se orienta el análisis directamente al tráfico generado por el servidor razón por la cual se adjunta en la *Figura 6.10*, siendo la gráfica obtenida directamente del software de análisis de tráfico.

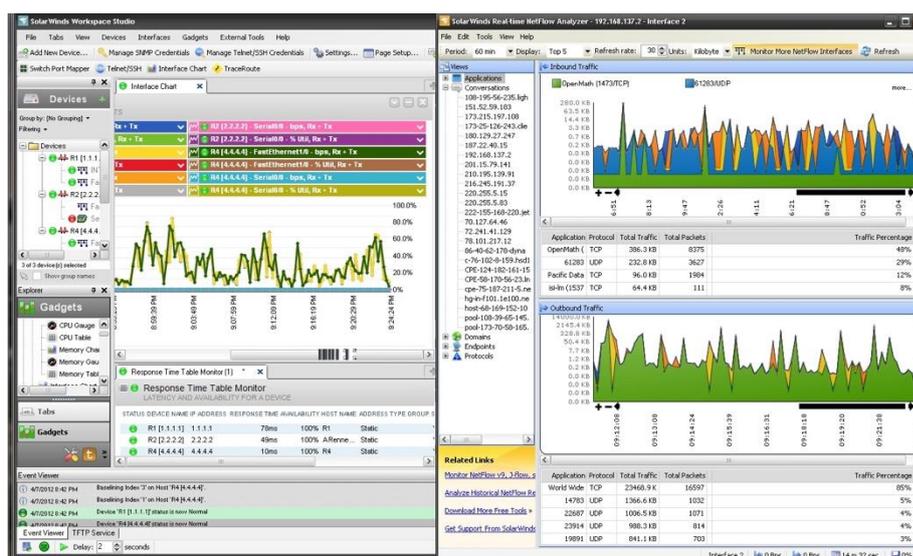


Figura 6. 10 Análisis y monitoreo del tráfico del servidor de VoIP.

El ancho de banda que posee el servidor es equivalente a 2 Mbps lo cual es relativamente suficiente dada las características que posee el equipo para establecer comunicación entre el servidor y los destinos que elijan los usuarios de la red; para ello se ha estimado que el tráfico máximo soportado por el servidor este encadenado a la cantidad de canales que sean requeridos para atender las necesidades de cada uno de los abonados en el Raspberry Pi, sean para el caso de llamadas simultaneas, llamadas desatendidas y video llamadas con el objetivo de descartar problemas en la degradación de la voz o en el rendimiento del equipo.

De acuerdo a la *Figura 6.9*, se define el siguiente análisis:

- Se utiliza una estrategia que se basa en la comprobación de resultados entre IFTOP y Solarwinds, la misma que se encuentra enmarcada en clarificar que los datos visualizados tengan concordancia y adicionalmente no carezcan de conocimiento de causa.
- Existen dos limitaciones con relación al tráfico máximo de llamadas que podrán ser atendidas a través del Raspberry Pi; una de ella es el ancho de banda que se posee, debido a que este factor altera la calidad de las video llamadas cuando el sistema se encuentra ocupado a su máxima capacidad, la

otra limitante es la capacidad técnica del servidor en cuanto a hardware porque dicho factor incide directamente sobre la robustez del sistema en la atención de las llamadas puesto que cada solicitud que un usuario o extensión genere al servidor esta a su vez requiere una cierta cantidad de procesamiento de datos y memoria lo que implica que por cada canal que se establezca en el servidor de VoIP las llamadas telefónicas simultaneas se verán afectadas por las condiciones presentes en el escenario propuesto.

- Con relación a la medición del tráfico soportado en el servidor de VoIP se utilizó el software Solarwinds en asociación con el encaminador Mikrotik 951UI-2hnd en el cual se realizaba la captura de las llamadas generadas desde el Raspberry Pi utilizando SIP, se verificó el tráfico que puede ser atendido por el servidor de VoIP a medida que se va incrementado la carga de requisitos de llamadas en forma gradual; para ello Solarwinds cumple con la función de procesar los datos obtenido del monitoreo realizado en el encaminador con el fin de establecer los valores en los cuales el servidor se mantiene en óptimas condiciones operacionales, así como los valores en los cuales el equipo deja de responder a cualquier petición, una vez alcanzada la saturación total de sus funciones, esto se aprecia en las *Figuras 6.11 y 6.12*.
- Se define como óptimos los resultados obtenidos del análisis realizado al Raspberry Pi, en base a que permite describir que la medición del tráfico máximo soportado en el dispositivo son los esperados. Una vez que los usuarios iniciaron las actividades de manera mesurada y luego en forma agresiva, se obtuvo un comportamiento aceptable; es así que el trafico RTP en el cual se registran las actividades del CODEC uLaw por ser el más común en las comunicaciones, posterior a ello se utilizó los CODEC g722, g723, g726 y g29 como elementos primordiales para encontrar la capacidad máxima del servidor.

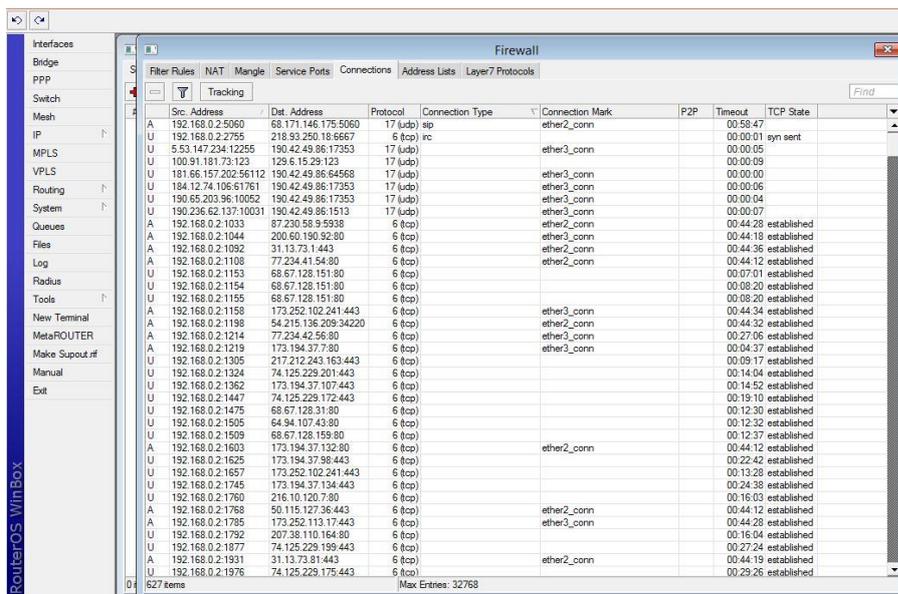


Figura 6. 11 Análisis y monitoreo del Trafico SIP directamente en el encaminador sobre la interfaz del servidor de VoIP, medición del tráfico soportado.

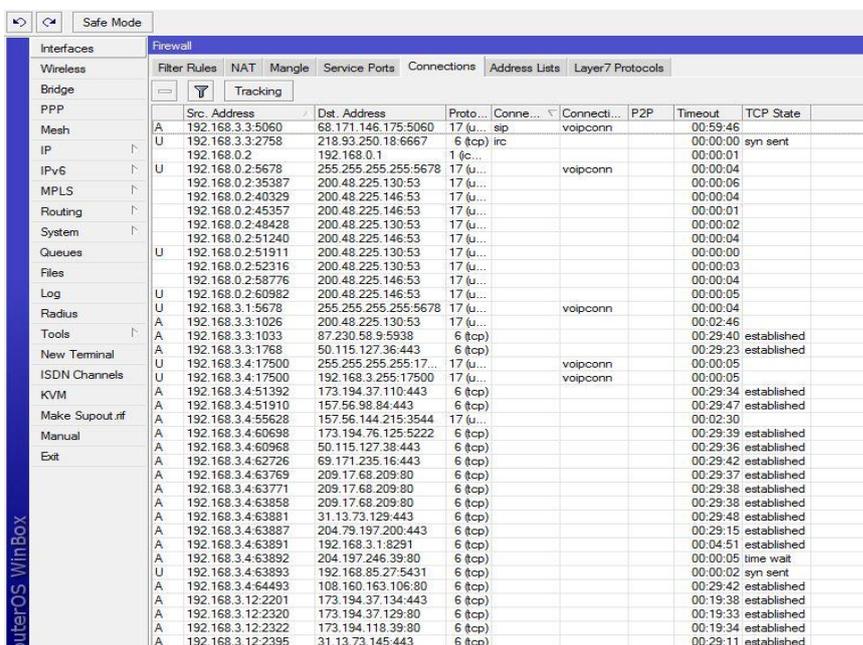


Figura 6. 12 Medición del tráfico soportado en base a la cantidad de conexiones de los usuarios de la red WiFi establecidas con éxitos por el servidor de VoIP.

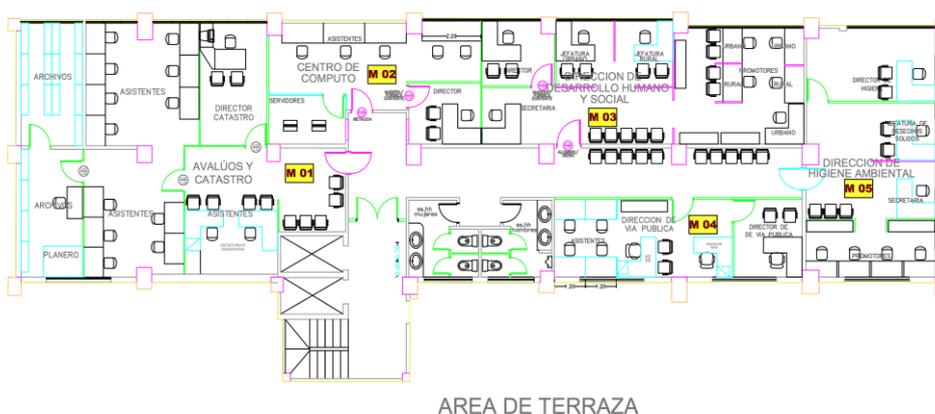
### 6.4 Estado de la red WiFi

Para la explicación sobre el estado de la red WiFi, fue necesario instalar de forma externa en un equipo directamente conectado a la red, las herramientas

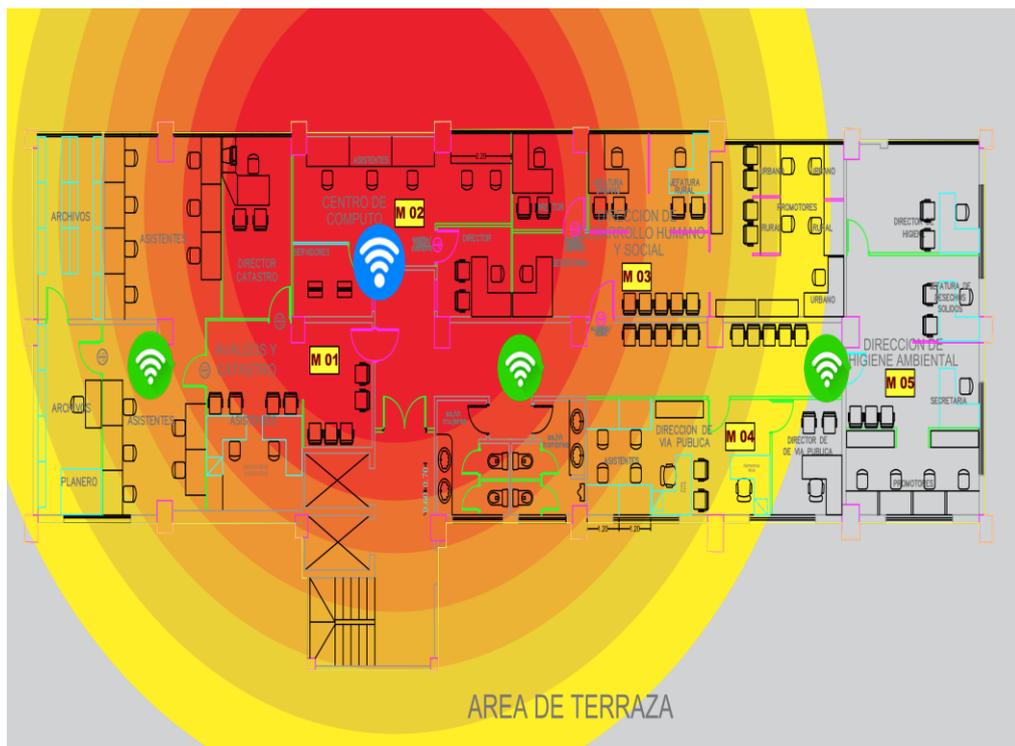
informáticas inSSIDer y Wireshark; en el caso de inSSIDer es caracterizado como un software de uso gratuito empleado en el análisis del espectro que generan las redes inalámbricas con el objetivo principal de identificar de forma visual los canales existentes y por ende el canal con menos saturación de tal forma que el administrador de la red pueda optimizar la calidad de la conexión WiFi.

Con relación a la herramienta Wireshark, se la define como un software de licencia libre que permite realizar el análisis y monitoreo de todas las actividades e incidencias que se producen en tiempo real en la red de datos; la meta de utilizar esta solución es la de recopilar las evidencias necesarias que permitan estudiar de manera concisa los protocolos y demás aditamentos que se conjugan en las comunicaciones inalámbricas.

Para ello se procedió a realizar las pruebas para comprobar en qué estado se encuentra la red WiFi en escenarios abiertos, también con ambientes que presentan múltiples obstáculos y con mayor población; es así que para el caso de entornos con mayor población se energizó el Raspberry Pi, adicionalmente se estableció la red con un número determinado de equipo para acceso inalámbrico con el objetivo de ampliar la cobertura y corroborar su comportamiento con las redes adyacentes tal como lo indican las *Figuras 6.13 y 6.14*.



**Figura 6. 13** Esquema del área propuesta para realizar pruebas del estado de la red WiFi en entornos hostiles (múltiples obstáculos, movilidad de los usuarios, población definida con mayor carga laboral).



**Figura 6. 14** Mapa de Calor del estado de la red WiFi.

En la *figura 6.14* se aprecia el esquema del área propuesta para realizar pruebas del estado de la red WiFi en entornos hostiles (múltiples obstáculos, movilidad de los usuarios, población definida con mayor carga de trabajo).

El área seleccionada tiene una superficie de 1.500 m<sup>2</sup> (20m x 75m) y se encuentra diseñada estratégicamente para garantizar un mayor rango de movilidad de los usuarios entre los diferentes accesos y secciones de trabajo; para lograr una correcta medición y visualización del estado de la red se hizo la implementación un mapa de calor el cual provea los niveles de cobertura del servicio soportado, a continuación en la *tabla 24* se detallan los servicios en función de la cobertura proporcionada por el encaminador.

EQUIPO ENCAMINADOR INALÁMBRICO	DISTANCIAS Y COBERTURA	SERVICIOS SOPORTADOS
	50m 80m a la redonda en entornos abiertos (outdoor). 30m en entornos cerrados (indoor).	Servidor de VoIP en producción: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Servidor Web</li> <li>• Servidor mail</li> <li>• Servidor IPBX</li> <li>• Cortafuegos</li> <li>• Servidor Openfire</li> </ul>
	30m a la redonda en entornos abiertos, las distancias se ven afectadas dependiendo de los factores que inciden en la cobertura del equipo.	Servicio de Internet.

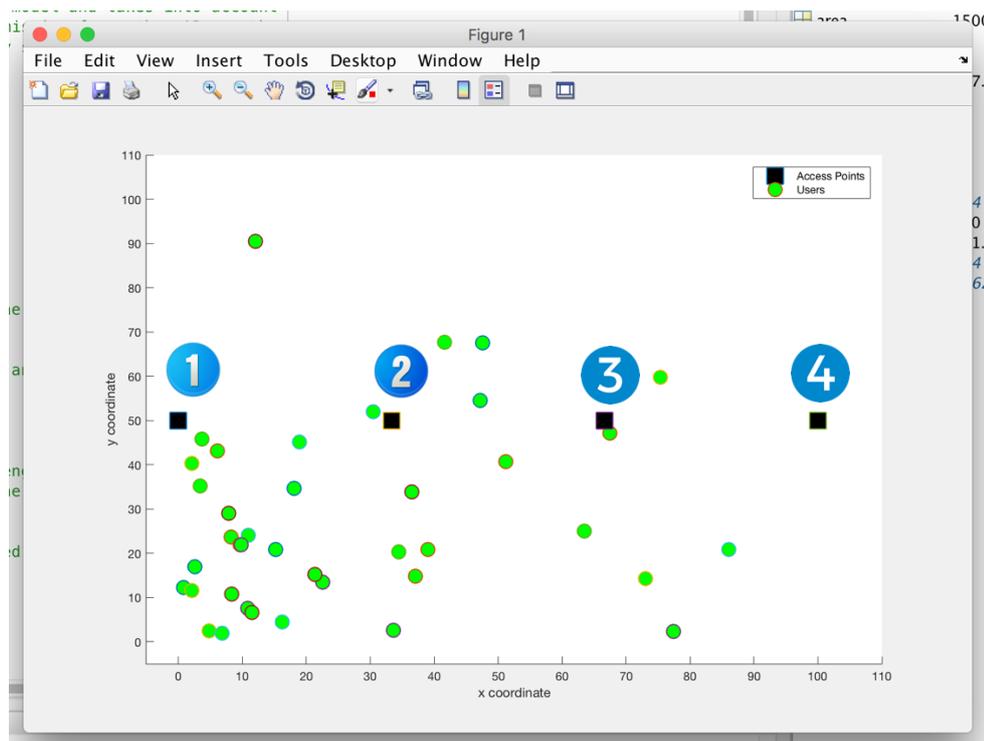
**Tabla 24** Alcance de los servicios otorgados por el encaminador.

Este dispositivo provisiona de acceso inalámbrico a los usuarios que harían uso del servidor de VoIP a través de la red WiFi, luego se realizó la instalación y configuración de las cuentas de usuarios a un total de 40 teléfono celulares; como paso siguiente se realizaron las pruebas de llamadas y posteriormente se estableció el servicio telefónico como predeterminado con el propósito de obtener una lectura correcta de los hechos que se acontecen en la red.

Se destaca que según la *Figura 6.12*, el mapa de calor indica las áreas con mayor y menor incidencias, así como la potencia necesaria para que los dispositivos móviles puedan detectar y estar conectados por medio de la señal radio, lamentablemente para el primer escenario propuesto el mapa de calor indica que

la cobertura no fue lo suficientemente fuerte para lograr cubrir todos los espacios posibles.

Para este efecto se procedió a tomar los datos obtenidos del software inSSIDer y Wireshark, se los convirtió en código fuente a través del lenguaje de programación en Matlab para la representación gráfica del estado de la red, así como el comportamiento de los usuarios basados en la movilidad de los mismos tal como se indica en la *Figura 6.15*.

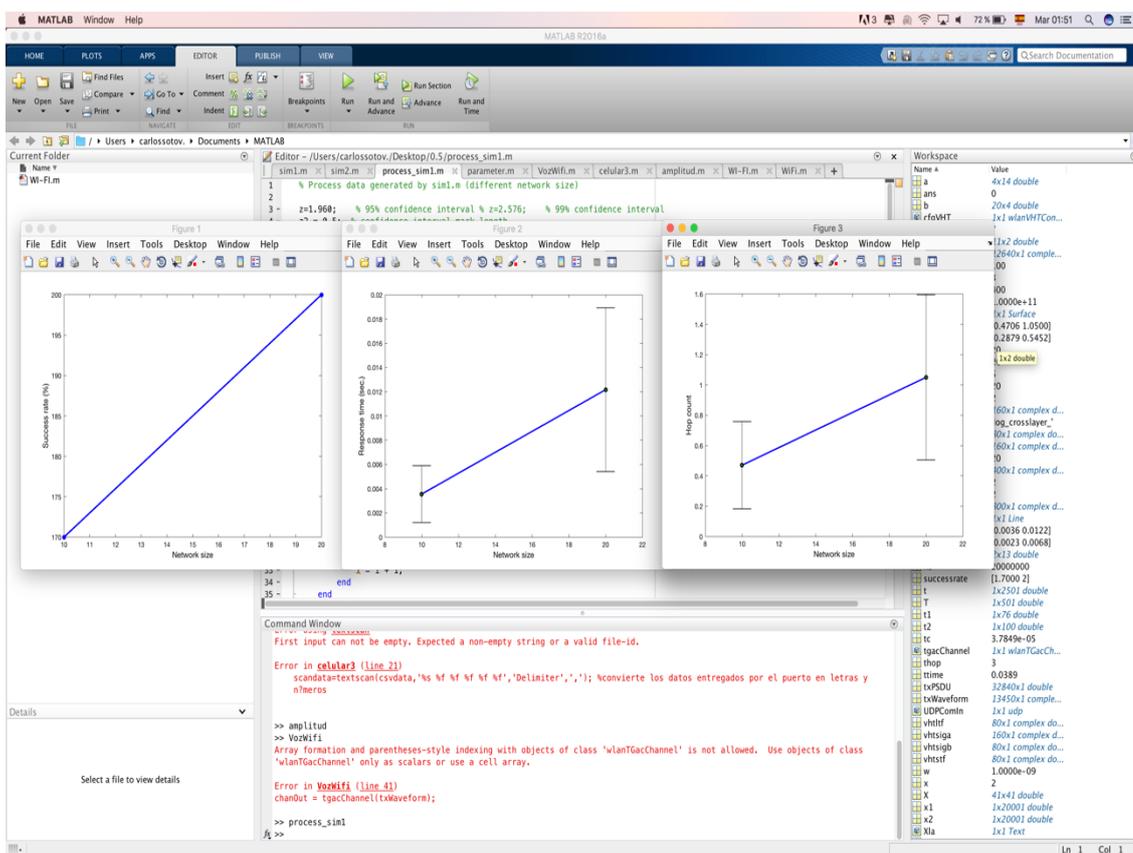


**Figura 6. 15** Simulación y representación gráfica del estado de la red WiFi a través de Matlab.

Se denota en la imagen la presencia de cuatro encaminadores inalámbricos y un total de 40 usuarios conectado directamente a la red de VoIP, como como se indica en el mapa de calor.

Los encaminadores mostrados son para brindar acceso inalámbrico a tres equipos (#1, #3, #4) que solo proveen el acceso al servicio de Internet y uno (#2) está dedicado para resolver las peticiones al servidor de VoIP, en el estado de la

red se observa el agrupamiento de los clientes móviles hacia el encaminador #2 (Equipo Mikrotik) el cual gestiona de manera ordenada cada uno de los requisitos en la red, el código está orientado a más de simular el estado de la red y verificar su nivel de comportamiento con la redes vecinas también muestra los niveles de calidad de voz de las llamadas realizadas a través de los clientes móviles hacia el servidor tal como se indica en la *figura 6.16*.

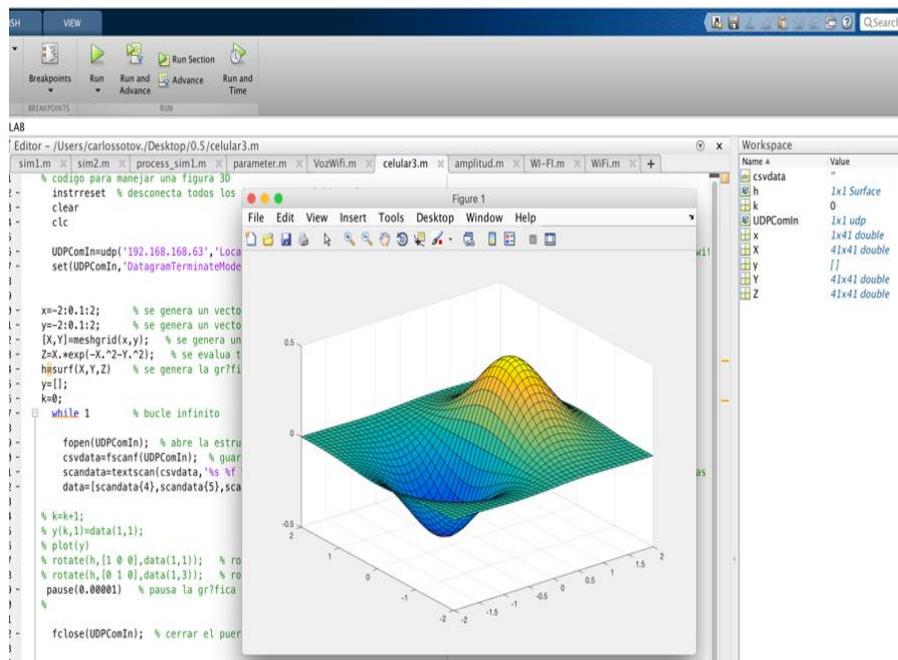


**Figura 6. 16** Fase, amplitud y la frecuencia de la señal a través de la propagación del sonido, en una llamada realizada desde un cliente móvil a través del servidor de VoIP por medio de la red WiFi.

Los resultados obtenidos muestran una calidad de voz relativamente altas en función del estado de la red datos tomados de inSSIDer y Wireshark para llevarlo a simulación con el lenguaje de programación Matlab.

La *Figura 6.17* muestra el estado de la red en base a la generación de la onda y espectro de cobertura en el área física propuesta para entornos hostiles, datos

tomados de la medición de cobertura realizado con la herramienta inSSIDer y llevado a simulación a través de Matlab.

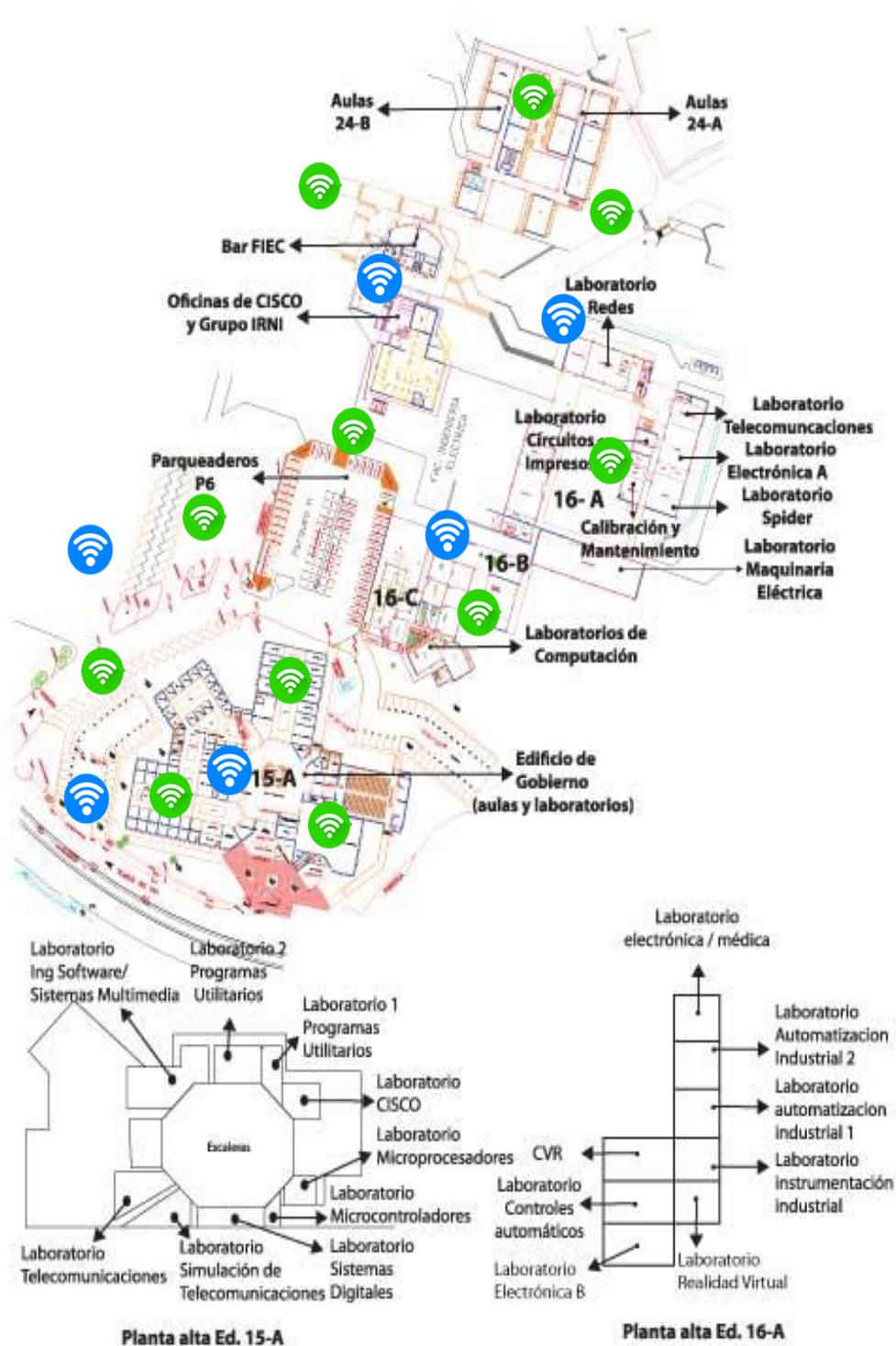


**Figura 6. 17** Estado de la red en base a la generación de onda y espectro de cobertura.

En el segundo escenario propuesto para efectos de comprobación y validación se realizaron las pruebas necesarias en el edificio de la FIEC, con el objetivo de verificar el estado de la red WiFi, el comportamiento de la red de VoIP en un entorno con mayor tráfico multimedia; para ello fue necesario conectar el servidor de VoIP en las instalaciones de la FIEC y adecuar un ambiente de pruebas a fin de realizar las conexiones e iniciar operaciones durante un tiempo determinado.

Se determinó que las pruebas a realizarse fueran un total de 40 horas en varios periodos de tiempo de tal forma que se pueda obtener una mayor lectura del estado de la red tanto en el Edificio Principal, así como en otros puntos del Campus Universitario.

En la *Figura 6.18* se esquematiza la distribución de la cobertura WiFi entorno al área física donde se requiere acceso a Internet.



**Figura 6. 18** Esquema grafico del predio universo correspondiente a la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.

En la imagen se indica los lugares en los cuales se realizaron las pruebas para determinar el estado de la red WiFi en base a la coexistencia con otras redes vecinas, en la *tabla 25* se aprecia la distribución de la red implementada, así como los símbolos correspondientes a su esquematización dentro de la facultad beneficiada.

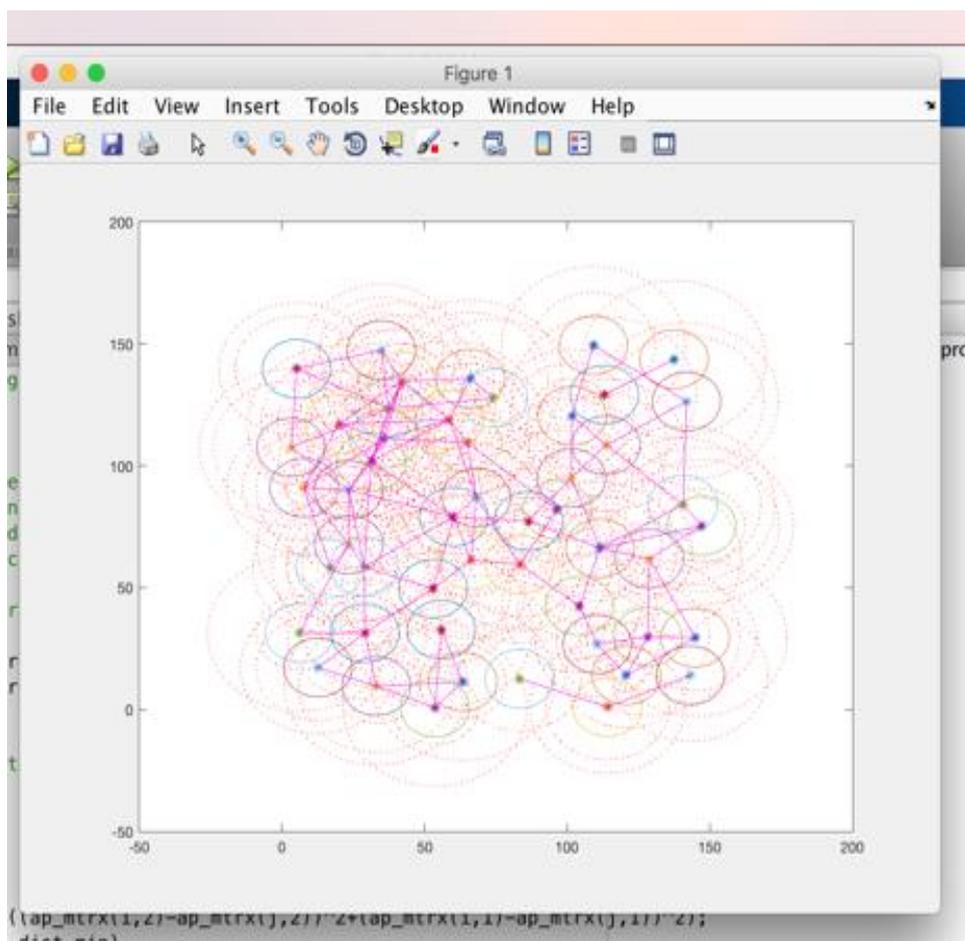
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	Red WiFi para el servidor de VoIP basado en Raspberry Pi “Mikrotik”
	Redes WiFi pertenecientes a la Escuela Superior Politécnica del Litoral. “FIEC, ESPOL-Visitantes, ESPOL-WiFi, eduroam, CONTIFICO, FIEC-EVENTOS, FIEC-WIFI, FIEC-CONSEJO”



Fotografía del edificio principal de la FIEC.

Tabla 25 Simbología y descripción de la implementación de la red WIFI.

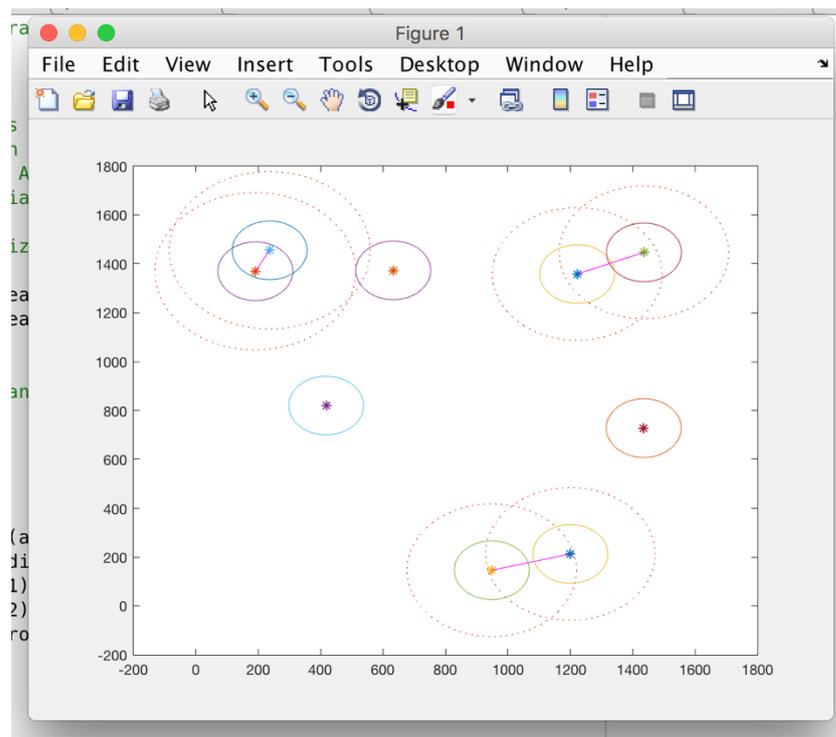
En la *figura 6.19* se aprecian los datos que fueron tomados del análisis de espectro y comportamiento de la red con el software inSSIDer y luego tabulado a nivel de código fuente con el lenguaje de Matlab.



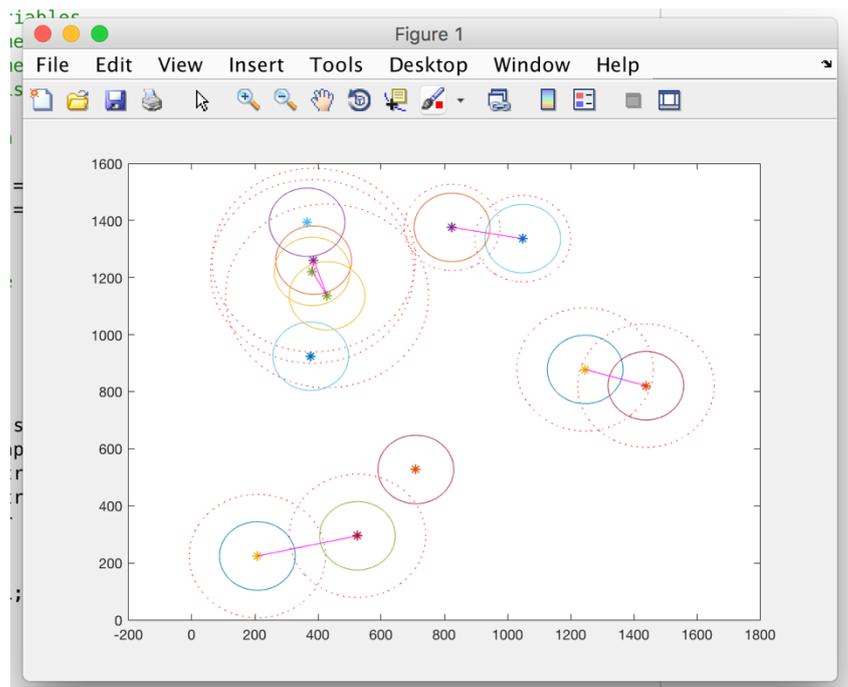
**Figura 6. 19** Muestra la gráfica del estado de la red WiFi en los predios de la FIEC.

La figura anteriormente descrita se basa en el comportamiento de las comunicaciones existentes en las redes WiFi de la ESPOL, se observa con claridad un problema de solapamiento en los canales de comunicación entre los distintos dispositivos de redes inalámbricas ocasionando que la probabilidad que la red se encuentre ocupada sea relativamente alta, es decir cerca del 100%, una causa principal que provoca este resultado es la saturación de canales, debido a que al mismo tiempo produce interferencia entre estas redes.

En la *Figura 6.20* se aprecia el estado de la red WiFi en el interior del edificio principal de la FIEC en horarios de poco tránsito y tráfico escolar, nótese que el nivel de solapamiento se mantiene entre los equipos adyacentes.



**Figura 6. 20** Estado de la red WiFi en el interior del edificio principal FIEC.



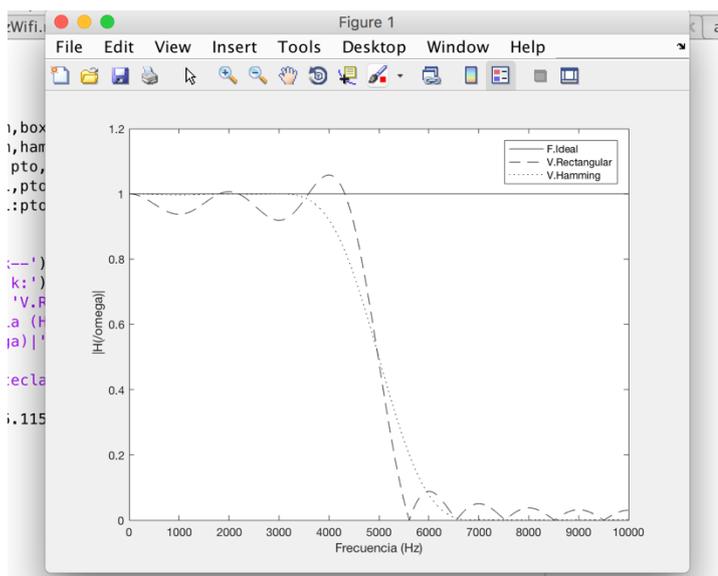
**Figura 6. 21** Estado de la red WiFi en los exteriores del edificio principal FIEC.

La *Figura 6.21* muestra la cobertura de la red WiFi en los exteriores del edificio principal de la FIEC en horarios de poco tránsito y tráfico escolar, nótese que el nivel de solapamiento se mantiene entre los equipos adyacentes.

Se establece que en determinado instante un equipo de acceso inalámbrico se encuentra enlazado con otro equipo de similares características dejando sin tiempo de respuestas a los usuarios o clientes móviles, las gráficas expresan el estado y comportamiento de la red en horarios pico y en horarios de poco tráfico.

El nivel de solapamiento de canales que se registra en la red WiFi en términos generales afectó el rendimiento del servidor de VoIP reduciendo la tasa de transferencia, el factor principal son las distancias que existen entre cada red lo que conlleva a que se comparta el mismo canal.

Adicionalmente se muestran el resultado de la onda uniforme en la transmisión de la voz la misma que es afectada por la atenuación dado que la red WiFi del servidor de VoIP es afectada por compartir canales de transmisión con otros dispositivos inalámbricos, tal como se observa en la *Figura 6.22*.



**Figura 6. 22** Atenuación de la voz durante el proceso de transmisión a través de la red WiFi con problemas de solapamiento de canales de comunicación.

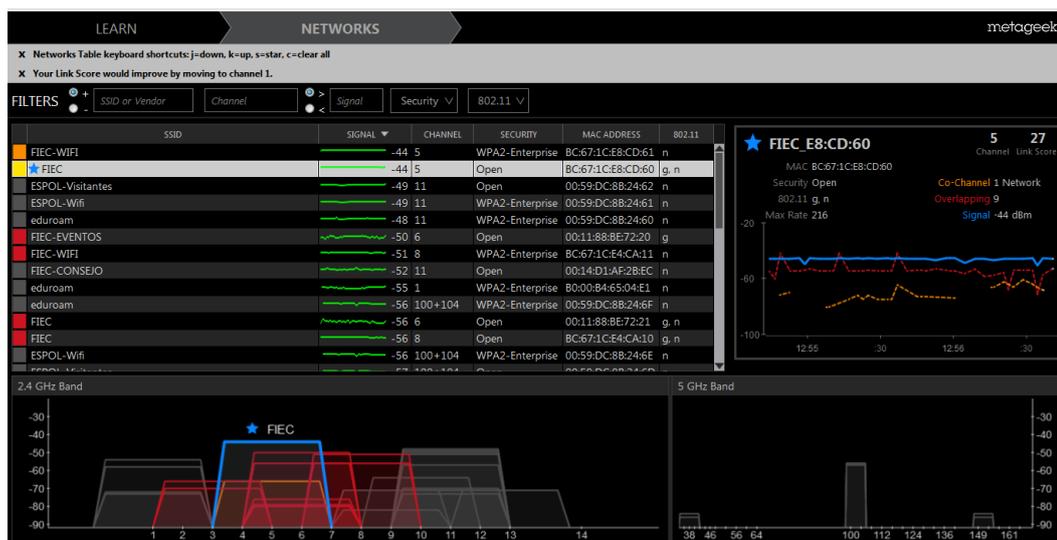


Figura 6. 23 Estado de la red WiFi en base a los niveles de saturación.

En la *figura 6.23* se aprecia el estado de la red según el grado de saturación y el solapamiento en los canales de comunicación e interferencia en las transmisiones; en la *Figura 6.24* el estado en base a la saturación de los canales de comunicación con otras redes.

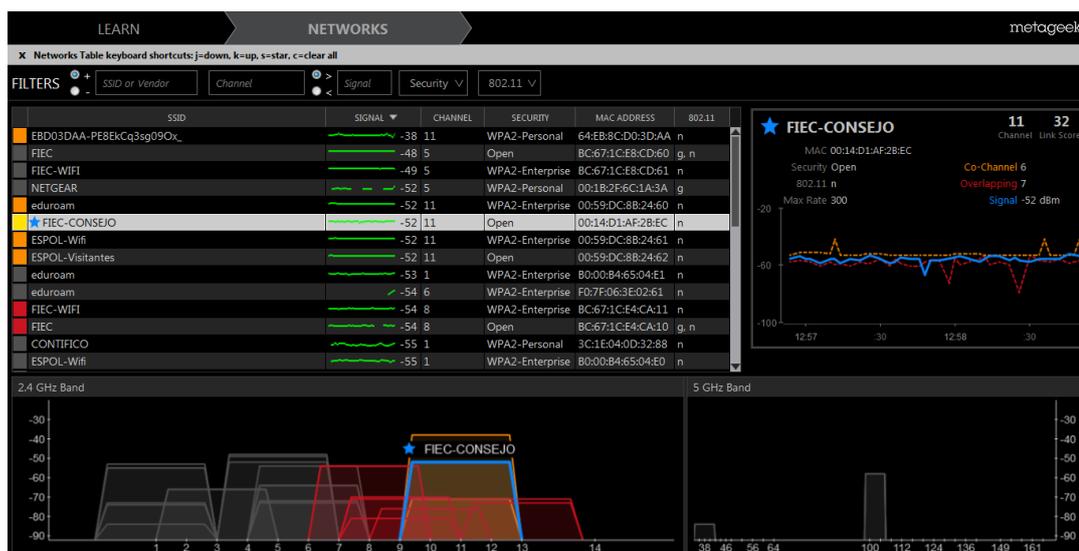


Figura 6. 24 Estado de la red WiFi en base a los niveles de, solapamiento en los canales de comunicación con otras redes.

The screenshot shows the Wireshark interface with a list of network packets. The 'Filter' field is empty. The packet list table is as follows:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Stream index	Info
3087	80.25875740	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2053414 Win=64240 Len=0
3088	80.2587330	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2054874 Win=64240 Len=0
3089	80.2587690	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2056334 Win=64240 Len=0
3090	80.2623470	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2057794 Win=64240 Len=0
3091	80.2623830	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2059254 Win=64240 Len=0
3092	80.2623840	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2060714 Win=64240 Len=0
3093	80.2623840	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2062174 Win=64240 Len=0
3094	80.2623850	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2063634 Win=64240 Len=0
3095	80.2623850	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2065094 Win=64240 Len=0
3096	80.2623860	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	2	50951-5555 [ACK] Seq=39340 Ack=2066687 Win=64240 Len=0
3097	80.5728590	10.1.1.45	172.17.6.20	TCP	56	4	[TCP Retransmission] 5555-50973 [PSH, ACK] Seq=72258 Ack=18059 Win=64240 Len=2[Reassemb]
3098	81.1812990	10.1.1.45	172.17.6.20	TCP	56	4	[TCP Retransmission] 5555-50973 [PSH, ACK] Seq=72258 Ack=18059 Win=64240 Len=2[Reassemb]
3099	82.3825370	10.1.1.45	172.17.6.20	TCP	56	4	[TCP Retransmission] 5555-50973 [PSH, ACK] Seq=72258 Ack=18059 Win=64240 Len=2[Reassemb]
3100	84.2627660	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	5	[TCP Spurious Retransmission] 51005-445 [FIN, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=64240 Len=0
3101	84.7848530	10.1.1.45	172.17.6.20	TCP	56	4	[TCP Retransmission] 5555-50973 [PSH, ACK] Seq=72258 Ack=18059 Win=64240 Len=2[Reassemb]
3102	89.6052030	10.1.1.45	172.17.6.20	TCP	56	4	[TCP Retransmission] 5555-50973 [PSH, ACK] Seq=72258 Ack=18059 Win=64240 Len=2[Reassemb]
3103	93.8720170	172.17.6.20	10.1.1.45	TCP	60	5	51005-445 [RST, ACK] Seq=2 Ack=1 Win=0 Len=0
3104	99.2148140	10.1.1.45	172.17.6.20	TCP	54	4	5555-50973 [RST, ACK] Seq=72260 Ack=18059 Win=0 Len=0

The detailed view for packet 3097 shows:

- Frame 3097: 56 bytes on wire (448 bits), 56 bytes captured (448 bits) on interface 0
- Ethernet II, Src: Hewlett\_77:00:1e (00:17:a4:77:00:1e), Dst: Netscreen\_ff:10:01 (00:10:db:ff:10:01)
- Internet Protocol Version 4, Src: 10.1.1.45 (10.1.1.45), Dst: 172.17.6.20 (172.17.6.20)
- Transmission Control Protocol, Src Port: 5555 (5555), Dst Port: 50973 (50973), Seq: 72258, Ack: 18059, Len: 2
- [Reassembly error, protocol TCP: New fragment overlaps old data (retransmission?)]
  - [Expert Info (Error/Malformed): New fragment overlaps old data (retransmission?)]
    - [New fragment overlaps old data (retransmission?)]
    - [Severity Level: Error]
    - [Group: Malformed]

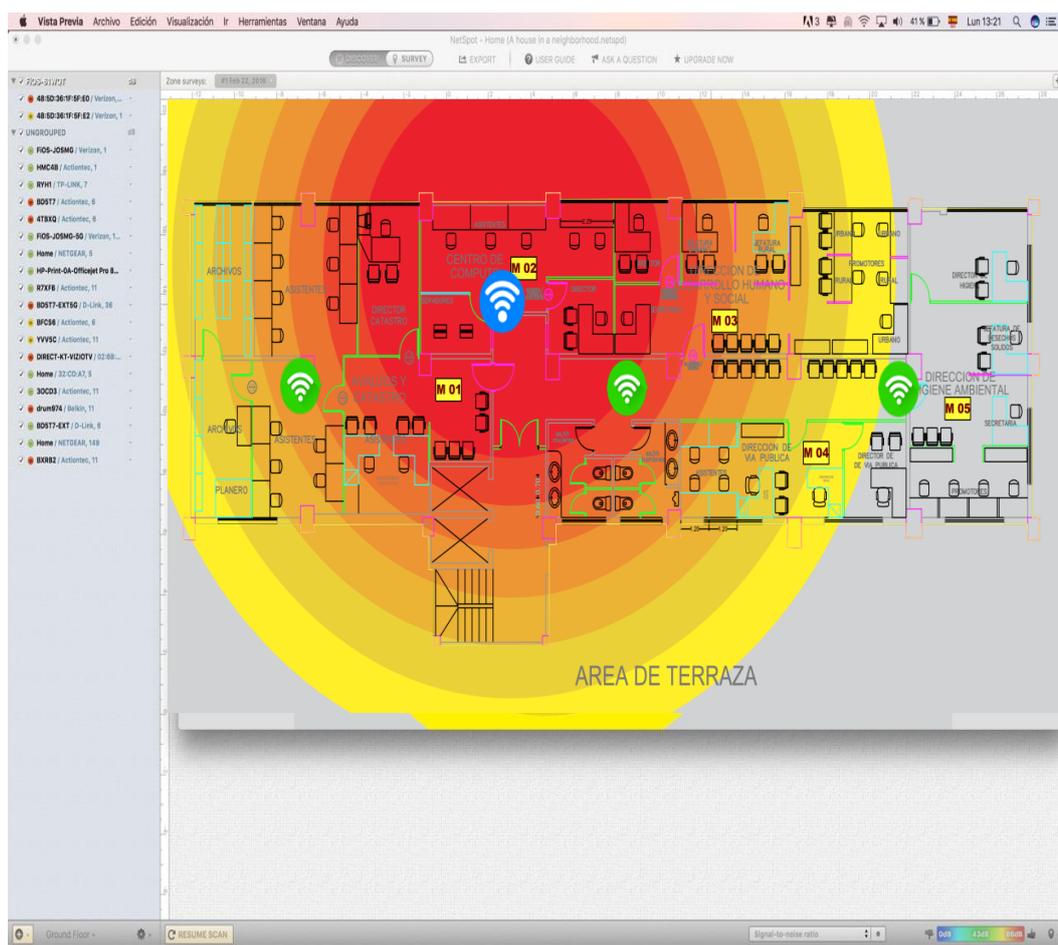
Figura 6. 25 Estado de la red WiFi en base a los niveles de, solapamiento con otras redes existentes.

En la Figura 6.25 se despliega el análisis realizado a través de la herramienta Wireshark que permite visualizar el estado de la red según el grado de solapamiento en relación con otras redes interconectadas.

## 6.5 Cobertura de los servicios de VoIP en la red WiFi

Para cumplir con este propósito se utilizó una herramienta con funciones de análisis, auditoría y monitoreo de la red inalámbrica, sin importar si es doméstica, empresarial o de campus; este mecanismo empleado entre sus ventajas permite agregar un plano del escenario propuesto e ir identificando en el área física la ubicación exacta de cada dispositivo de acceso inalámbrico de tal forma que para lograr la demostración de la cobertura de los servicios de VoIP en la red WiFi se realizó en forma paralela el reconocimiento del sitio de manera asistida con un computador portátil, activando el software en modo de rastreo de SSID visibles y ocultas.

El término *SSID* proviene de la expresión en inglés *Service Set Identifier* o su interpretación en idioma español Identificador del conjunto de servicios, NetSpot es un software orientado a objetos escrito en lenguaje C el mismo que se mantiene integrado a una suite de librerías gráficas y de análisis matemático para el aprovisionamiento y soporte de los datos que devuelve la herramienta una vez que el rastreo de la cobertura haya finalizado, tal como lo muestran las *Figuras 6.26, 6.27, 6.28 y 6.29.*



**Figura 6. 26** Representación gráfica la cobertura de los servicios de VoIP en la red WiFi en ambientes hostiles con mayor carga de trabajo a través de un mapa de calor realizado en la herramienta NetSpot.

En las *Figura 6.26 y 6.27*, se visualiza de manera gráfica la ubicación exacta de los puntos donde estableció un equipo de acceso inalámbrico para el despliegue de los servicios de VoIP en la red WiFi en las instalaciones de la FIEC.





En cuanto a la disponibilidad del servicio se registra un comportamiento moderado con tendencia a verse afectado en los extremos de la red donde la señal se torna débil y en ese instante el servidor de VoIP no encuentra una forma de traducción e interpretación del evento suscitado con el cliente móvil debido a la pérdida de presencia en el enlace de punto a punto establecido entre el emisor-receptor de la llamada de VoIP. Luego el sistema emite un mensaje de tipo SIP con código 404, 406, 420 (la extensión no ha sido encontrada por lo cual no se acepta la llamada).

En base a la seguridad de la cobertura de los servicios y su respectiva planificación de la red WiFi, se consideró pertinente establecer un SSDI único entre todos los *equipos Access Point (Mikrotik)* con el objetivo de crear un escenario de roaming o celdas auto asignables para reducir la itinerancia en los clientes móviles, para que no vean afectados su plan de datos o la conexión hacia el servidor mientras se movilizan desde un punto a otro en la red; eliminando la típica negociación entre los distintos Access Point y los clientes móviles cada vez que se produzca un cambio de sitio.

La calidad de voz se mantiene en perfectas condiciones en todo el perímetro de la red, no así en los extremos de la misma debido a que el tráfico existente en los canales compartidos hacen que el servidor incremente el procesamiento de datos para que la calidad se mantenga lo cual no es posible dado que las características del Raspberry Pi son limitadas.

## **6.6 Factores que inciden en la cobertura para clientes móviles en la red WiFi**

En esta investigación se definen varios factores que inciden en la cobertura para clientes móviles en la red WiFi, a continuación, se detallan los condicionantes que representan una amenaza para la cobertura; tales consideraciones son importantes para garantizar un desempeño satisfactorio en escenarios hostiles con mayor carga de trabajo:

- La infraestructura que se utilizó para el primer escenario (superficie de 1.500 m<sup>2</sup> (20m x 75m)) contenía 29 paredes de concreto con un grosor de 20 centímetros y 17 paredes hechas con marcos de aluminio y cartón prensado con un grosor de 1,5 cm, para el caso de los muros con mayor espesor se

evidenció que la cobertura WiFi se vio afectada al punto de no lograr el 100% de la cobertura; el rango que se alcanzó fue un máximo 17m a la redonda y para el caso de las paredes con menos espesor se obtuvo una cobertura entre los 25 y 32 metros a la redonda, este factor varía en función de los materiales de construcción, equipamientos y redes existentes alrededor consideradas como obstrucciones físicas.

- El retraso es otro factor que tuvo incidencia en la cobertura provocando distorsión y molestia en las comunicaciones de tipo multimedia o video llamadas entre los usuarios móviles, se evidencia que la red sufre una descompensación en los canales a causa de la interferencia en ambientes con infraestructura no adecuadas.
- La fluctuación de velocidad: se registró una fluctuación en la velocidad de transmisión lo que ocasiono que el servidor perdiera contacto con varias extensiones y clientes móviles debido a un desfase en el ancho de banda del encaminador principal de la red.
- Latencia: este factor es causado por el uso de canales compartidos ya que los equipos de las redes vecinas trabajan en la misma frecuencia en la que opera la red WiFi del servidor de VoIP.
- Reflexión de la señal: la reflexión de la señal provoca que la cobertura para clientes móviles se afecte en lugares con materiales de construcción especiales como el concreto y mampostería de mayor grosor logrando el desvanecimiento de la señal en los extremos de la red.

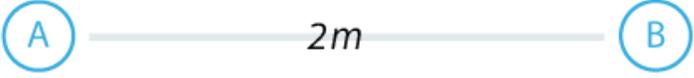
Los parámetros que inciden en la cobertura para clientes móviles en la red WiFi en la FIEC, son los siguientes:

- *La distancia entre los dispositivos*: afecta de manera directa a la propagación de la señal emitida por los equipos de acceso inalámbrico en base a que a mayor distancia entre cada equipo Wireless la señal se tornará más débil, este parámetro se esquematiza a través de *Figura 6.30*.

$$\text{Nivel Señal} = \frac{1}{\text{Distancia}^3}$$

Ejemplo 1 

$$\text{Nivel señal} = \frac{1}{1^3} = \frac{1}{1} = 1$$

Ejemplo 2 

$$\text{Nivel señal} = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8} = 0.125$$

Figura 6. 30 Cálculo del nivel de la señal.

La expresión matemática representa la forma como se degrada la señal a través de la inversa cúbica de la distancia entre dos dispositivos afectando los rangos de coberturas de la red WiFi, producto de ello es la pérdida de la señal que se registra en la red durante las pruebas ejecutadas.

- *Interferencia*: de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis del espectro WiFi en los predios de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación se descubre que las señales en su mayoría trabajan en las mismas frecuencias (2,4 Ghz) causando interferencia a más de un equipo del campus con la saturación del espectro.
- *Canal compartido*: se evidencia que las redes WiFi en sus múltiples conexiones de los clientes móviles son susceptibles a la reconfiguración de sus parámetros por parte externa debido al uso de fuerza bruta en horas de mayor tráfico, debido a que el equipo pierde su robustez para defenderse de intrusiones externas en el canal de transmisión.
- *Uso de la red en función de la carga de trabajo*: afecta de forma directa al ancho de banda, en base a que la transmisión de audio y video logra debilitar el tiempo de respuesta hacia los demás clientes móviles que desean hacer uso de la red para diferentes actividades y en este evento se agrava el

despliegue de la cobertura cuando los equipos de acceso inalámbrico no poseen la capacidad para administrar la cantidad de millones de paquetes por minuto requeridos en función del total de clientes móviles en toda la red.

- *El entorno de la red:* se presenta en las inmediaciones de los edificios de la FIEC y en el interior del edificio principal por la cantidad de redes existentes, adicionalmente se observa que existen elementos que colaboran en la atenuación de la señal una de ellas es el solapamiento de canales combinado con los obstáculos físicos como las paredes (materiales con los que se encuentran construidas), árboles y la saturación del espectro.
- *Pérdida de velocidad:* se origina debido a un desfase en la potencia del equipo inalámbrico afectando el tránsito de los paquetes enviado desde los clientes móviles a través de la red WiFi; resultado de ello son los paquetes perdidos en las transmisiones ejecutadas durante la fluctuación de la velocidad en la que viajan los datos.
- *Polaridad de la señal y despliegue de equipos inalámbricos:* los equipos para el despliegue de la cobertura inalámbrica por lo general polarizan las señales sin embargo este hecho es un factor que limita la recepción de los dispositivos móviles de gama baja y en casos extremos no son compatibles con aquellos equipos que son más antiguos al año de fabricación del punto de acceso inalámbrico; otro evento aislado es la forma en la que se ha desplegado la red WiFi dejando puntos sin total cobertura que transmiten lo que implica que los dispositivos receptores deberían de estar orientados en el mismo plano para tener un rendimiento óptimo, esto es esencial en instalaciones que requieran grandes anchos.
- *Capacidad de respuesta del servidor de VoIP:* se relaciona al nivel de procesamiento y a la capacidad operativa que posea en este caso el Raspberry Pi a través de las peticiones que convergen desde los distintos puntos de la red.

## CAPÍTULO 7

### 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se destacan las respuestas obtenidas a partir del servidor de VoIP implementado, se logra describir su funcionamiento, las características de la red, y las configuraciones realizadas al igual que la interpretación de los valores obtenidos respecto al uso del servidor frente a las solicitudes de los usuarios.

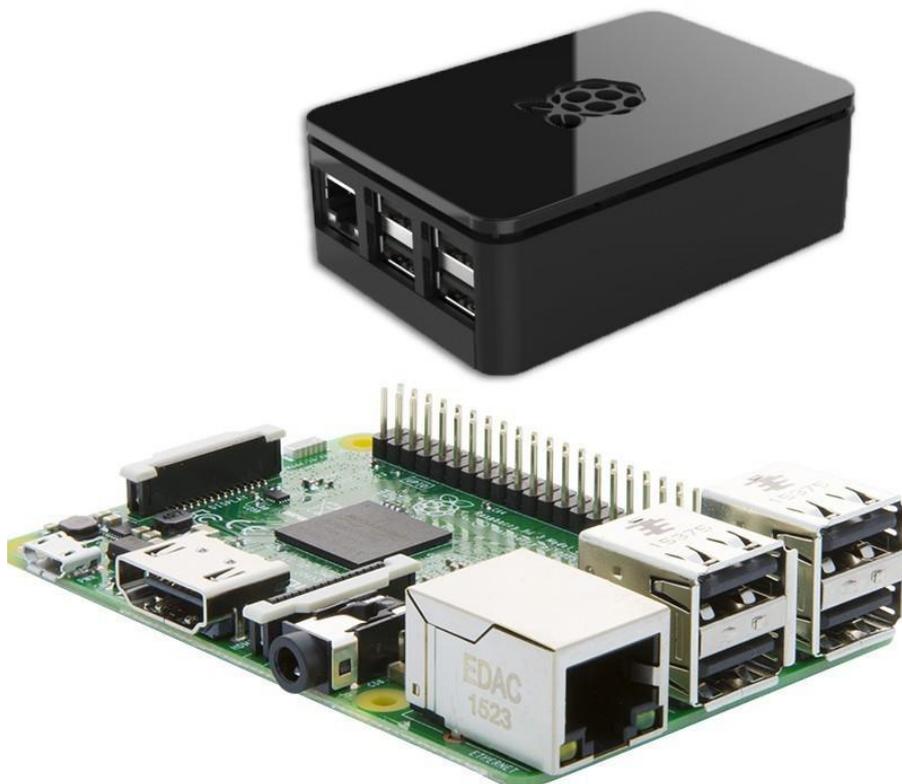
#### 7.1 Análisis descriptivo de la investigación

Con relación a todos los datos recopilados en esta investigación se procede al análisis en forma descriptiva de cada evento, su incidencia en el comportamiento del servidor de VoIP basado en Raspberry Pi y de qué manera influyen en la cobertura para clientes móviles en la red WiFi; por ello para el respectivo análisis se incorporan varias tablas en las cuales se hace el enfoque de forma particular a cada uno de los factores más relevantes de la investigación tomando en cuenta que el servidor de VoIP permite ejecutar las practicas necesarias para el control, monitoreo y despliegue telefónico en formato digital e inclusive de manera híbrida si este fuera el caso.

##### 7.1.1 El dispositivo

En general se enfoca de forma muy particular al aprovisionamiento del servicio de VoIP en una red WiFi para diferentes plataformas de clientes móviles dotando a su vez de la cobertura necesaria con el objetivo de estudiar el comportamiento del servidor y lograr determinar los factores que inciden en el rendimiento y comportamiento del equipo propuesto como objeto de investigación.

En la *Figura 7.1* se observa el equipo usado como medio para prever el servicio VoIP, siendo objeto de estudio en el comportamiento, a la vez que se usa como parámetro de medición en la incidencia de la cobertura de clientes móviles en redes WiFi.



**Figura 7. 1** El dispositivo Raspberry Pi modelo 3.

De acuerdo a las características con las que se encuentra construido el Raspberry Pi se genera una limitante en base al rendimiento para procesos forzados en los cuales es necesario mayor procesamiento de datos y mayor consumo de memoria; si bien es cierto en todo el proceso de prueba que se llevó a cabo para la puesta a punto el servidor de VoIP basado en Raspberry Pi, se verifica que el dispositivo cumplió con todas las expectativas prevista en un sistema típico de telefonía IP y de VoIP desplegado a través de una red WiFi.

Sin embargo, el dispositivo obtuvo un desmejoramiento en sus funciones debido a la saturación del espacio libre en la tarjeta de memoria micro SD a causa de las descargar y agregación de software y paquetería adicional, posteriormente su comportamiento fue lento y errático para el acceso vía web, se evidencia un incremento entre el 83% y el 100% de actividades en el interior del servidor, siendo necesario la liberación de espacio en la

memoria micro SD para volver a la normalidad del estado y funciones del servidor.

El proceso de lentitud que se produjo en el servidor logra evidenciar que pese a la saturación y desgaste registrados en el equipo no fue impedimento para que el servidor dejara de funcionar, en todo caso el Raspberry Pi se mantuvo en línea en todo momento aun estando completamente saturado por la convergencia de los clientes móviles.

### 7.1.2 La cobertura

Con relación a los aspectos inmersos en la cobertura de la red WiFi, así como en la propagación de la señal en el espacio físico de los escenarios en los que se realizaron las pruebas se debe indicar lo siguiente: de acuerdo a lo que estipula el estándar para la *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), cada versión del estándar 802.11 se enmarca en el mejoramiento de la transmisión de datos a través de la emisión de señales de tipo inalámbrico como se expresa en la *tabla 26*.

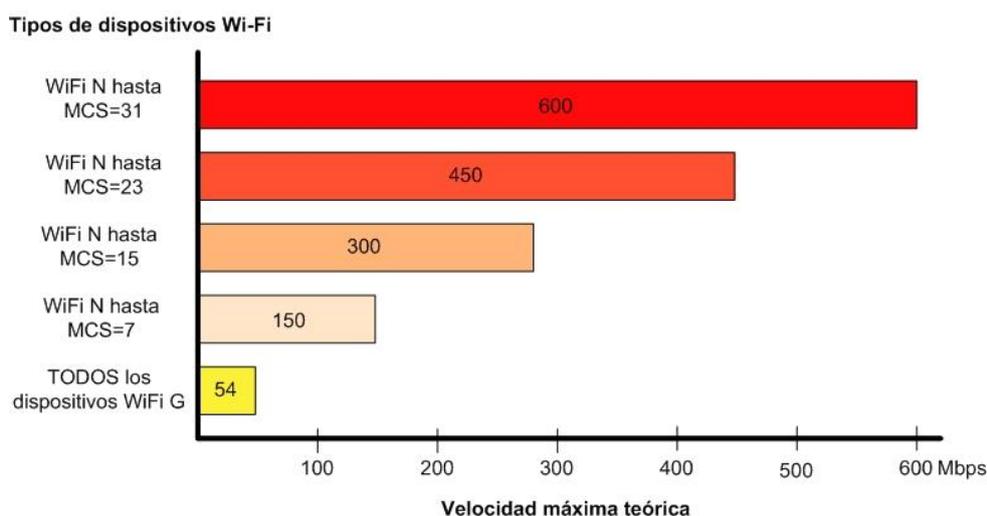
ESTÁNDAR	NOMBRES COMERCIALES	AÑO	VELOCIDAD MÁXIMA TEÓRICA
IEEE 802.11	-	1997	2 Mbps
IEEE 802.11a	802.11A	1999	54 Mbps
IEEE 802.11b	802.11B, WiFi B	1999	11 Mbps
IEEE 802.11g	802.11G, WiFi G	2003	54 Mbps
IEEE 802.11n	802.11N, WiFi N	2009	600 Mbps
	802.11AC, WiFi		
IEE 802.11ac	AC	2014	1.3 Gbps (*)

**Tabla 26** Velocidad máxima teórica para estándares de cobertura en redes WiFi.

Sin embargo, en la práctica se verifica que el comportamiento de la red, las velocidades máximas que se logran alcanzar entre los dispositivos móviles y los equipos de acceso inalámbrico son menor a lo estipulado por la

*Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*; para este efecto existen factores principales que influyen de manera directa sobre la cobertura de la WiFi.

- Las especificaciones técnicas y las reglas de negocios en las cuales se haya basado el fabricante de los equipos de acceso inalámbrico para su producción y posterior puesta a punto como se gráfica mediante la *Figura 7.2*.



**Figura 7. 2** Esquema de la velocidad máxima teórica en función del mejoramiento de las versiones de los estándares basados en 802.11.

- El entorno de la red por lo general no provee de elementos que permitan un mejor desempeño y emisión de la señal, produciéndose el efecto de reflexión de la señal lo que ocasiona al mismo tiempo la debilitación de la señal.
- La saturación de los canales de comunicación es una amenaza latente en los equipos de acceso inalámbrico ya que este hecho está demostrado que resta la capacidad de poder auto defenderse de cualquier tipo de intrusión externa o interna.

- El solapamiento de los canales es el suceso más cotidiano en las redes WiFi, el problema se radica y persiste en la no planificación de la red y adicionalmente en tomar a la ligera la importancia de diseñar, planificar e instalar una red WiFi.

En recopilación a cada una de los factores que influyen en la cobertura se adjunta en la *tabla 27* que muestra las incidencias en la cobertura para clientes móviles.

NOMBRE DE LA RED	CANAL	ESTANDAR	CANAL COMPARTIDO	SOLAPAMIENTO	VELOCIDAD MAXIMA	SEÑAL
FIEC	5	802.11g/n	1	9	216 Mb	-44 dBm
Mikrotik	1	802.11g	0	2	54 Mb	-47 dBm
eduroam	11	802.11n	4	6	144 Mb	-49 dBm
ESPOL-						
Visitantes	11	802.11n	4	7	144 Mb	-50 dBm
ESPOL-						
WiFi	11	802.11n	4	7	144 Mb	-50 dBm
FIEC-						
CONSEJ						
O	11	802.11n	6	6	300 Mb	-52 dBm
EBD03DA						
A-						
P8EkCq3s						
g09Ox_	11	802.11n	6	7	144 Mb	-51 dBm
FIEC-WIFI	5	802.11n	1	9	216 Mb	-5 dBm
FIEC	5	802.11g/n	1	8	216 Mb	-45 dBm
FIEC-						
CONSEJ						
O	11	802.11n	6	7	300 Mb	-11 dBm
FIEC-						
EVENTO						
S	6	802.11g	4	9	54 MB	-60 dBm

**Tabla 27** Nombres de las redes inalámbricas de la FIEC.

En la tabla anterior se visualiza el canal de transmisión, estándar bajo el que opera el equipo, cantidad de canales compartidos, la cantidad de canales con solapamiento y la potencia de la señal a la que transmite, dichos valores evidencian el análisis descriptivo realizado a la incidencia en la cobertura de la red WiFi, nótese que en los equipos de acceso inalámbrico existe un alto índice de saturación en los canales de transmisión lo cual da paso a una mayor cantidad de canales compartidos y por ende provoca la saturación o solapamiento de los canales; afectando directamente a la velocidad de conexión entre los distintos usuarios de la red.

Se comprueba que en determinados instantes los equipos de la red WiFi se quedan sin tiempo de respuesta a causa de la pérdida de la señal inalámbrica y este incidente genera que el servicio de VoIP se degrade.

### **7.1.3 Clientes móviles**

Se establece una población máxima de 40 usuarios con dispositivos móviles registrado de manera exitosa en el servidor de VoIP, las pruebas realizadas en cuanto a la comunicación inter usuarios fueron excelentes con respecto al sistema de telefonía IP y VoIP, luego se agregó al sistema el equipamiento lógico para llevar a cabo el estudio del comportamiento del servidor, por ende realizar las pruebas necesarias con mayor nivel de dificultad; razón por la cual se adicionó herramientas y componentes a nivel de software con el objeto de controlar y monitorear todo lo concerniente al entorno de las conexiones inalámbricas entre los usuarios móviles.

En el proceso de revisión y control se corrobora que el servidor de VoIP una vez instalado e integrado a las herramientas Analizador de tráfico y protocolos (Wireshark), Analizador de ancho de banda (IFTOP), Analizador de tráfico SIP (SNGREP), Administrador de procesos internos (HTOP), *Supervisor de tráfico en redes WiFi (NLOAD)*, *Monitoreo de Interfaces (CBM)* y *Visualizador de tráfico (JNETOP)* a su plataforma de comunicación; disminuyó su rendimiento a causa del incremento en el

consumo de memoria-procesador por la presencia y activación de los mecanismos requeridos para el estudio del comportamiento.

Se comprueba en segunda instancia que el servidor experimenta un proceso de lentitud en el tiempo de respuesta a las diversas peticiones de los usuarios móviles, se intenta establecer operaciones con el total de la población de manera simultánea pero el equipo registra valores altos en el consumo de procesador y memoria, las comunicaciones interusuarios son erráticas, el servicio de correo electrónico resuelve con total lentitud y el sistema de mensajería instantánea dejó de funcionar; en tercera instancia se hace el proceso de ir haciendo pruebas con los usuarios hasta establecer el número exacto de convergencias en la cual el equipo estaría en el límite de sus operaciones, se constata que con un total máximo de 27 usuarios conectados haciendo uso a máxima capacidad de sus funciones el Raspberry Pi funciona correctamente luego de superar ese rango el equipo inicia un estado de latencia en sus funciones.

En las Figuras 7.3 y 7.4 se muestran el estado del equipo en base al consumo de recursos y se explica brevemente la incidencia causada en el servidor de VoIP.

```

CPU[#####] Tasks: 26, 5 thr: 2 running
Mem[#####] Load average: 1.86 1.81 1.41
Swp[#####] Uptime: 15 days, 03:07:15

PID USER PRI NI VIRT RES SHR S CPU MEM TIME+ Command
6876 root 20 0 18968 3240 860 R 70.0 13.3 30h40:16 /usr/bin/transmission-daemon -g /etc/config/trans
1318 root 20 0 26600 10684 900 S 17.0 17.2 52h42:49 /mnt/35gigas/mldonkey/minimal/mlnet
30909 root 20 0 1356 680 488 R 5.0 1.1 0:04.58 htop
17775 root 20 0 8760 524 340 S 0.0 0.8 6:17.74 /usr/sbin/collectd
17778 root 20 0 8760 524 340 S 0.0 0.8 1:16.67 /usr/sbin/collectd
1 root 20 0 1508 164 160 S 0.0 0.3 0:03.50 init
358 root 20 0 1808 64 60 S 0.0 0.1 0:00.00 init
436 root 20 0 1512 164 140 S 0.0 0.3 0:07.81 /sbin/syslogd -l 8 -C16
438 root 20 0 1496 116 112 S 0.0 0.2 0:02.18 /sbin/klogd
440 root 20 0 860 124 120 S 0.0 0.2 0:00.52 /sbin/hotplug2 --override --persistent --set-rules-file /etc/hotplug2.rules --set-coldp
660 root 20 0 1492 72 36 S 0.0 0.1 0:45.96 /sbin/watchdog -t 5 /dev/watchdog
819 root 20 0 1504 204 176 S 0.0 0.3 10:54.51 /sbin/udhcpd -t 0 -i eth0 -b -p /var/run/dhcp-eth0.pid -O rootpath -R
1193 root 20 0 1156 180 144 S 0.0 0.3 0:00.85 /usr/sbin/dropbear -P /var/run/dropbear.1.pid -p 22
1197 root 20 0 784 132 128 S 0.0 0.2 0:00.00 /usr/sbin/p9100d -b -f /dev/lp0 0
1203 root 20 0 1284 144 140 S 0.0 0.2 0:01.97 pure-ftpd (SERVER)
1223 root 20 0 1086 248 168 S 0.0 0.4 0:04.29 /usr/sbin/uhttpd -f -h /www -z Huawei -x /cgi-bin -t 60 -T 30 -A 1 -R -p 0.0.0.0:80
1243 nobody 20 0 936 192 148 S 0.0 0.3 0:13.76 /usr/sbin/dnsmasq -K -D -y -Z -b -E -s lan -S /lan/ -l /tmp/dhcp.leases -z /tmp/resolv.
1243 root 39 18 4020 136 132 S 0.0 0.2 0:01.03 /usr/sbin/smbd -D
1298 root 20 0 1504 188 184 S 0.0 0.3 1:22.85 /usr/sbin/ntpd -n -p 0.openwrt.pool.ntp.org -p 1.openwrt.pool.ntp.org -p 2.openwrt.pool
1315 root 20 0 1604 132 128 S 0.0 0.2 0:00.03 SCREEN
1316 root 20 0 1512 152 148 S 0.0 0.2 0:00.02 /bin/ash
1317 root 20 0 1500 112 108 S 0.0 0.2 0:00.01 ash /mnt/35gigas/start_mlnet
1319 root 20 0 26600 10684 900 S 0.0 17.2 1:52.57 /mnt/35gigas/mldonkey/minimal/mlnet
1320 root 39 18 26600 10684 900 S 0.0 17.2 0:19.60 /mnt/35gigas/mldonkey/minimal/mlnet
F1Help F2Setup F3Search F4Filter F5Tree F6SortBy F7Filter F8Filter F9Kill F10Quit

```

Figura 7. 3 Muestra la gráfica de los procesos ejecutados en el servidor de VoIP.



## 7.2 Interpretación de los resultados

Entre todas las etapas que componen esta investigación se logra describir el comportamiento obtenido del servidor de VoIP en código abierto sobre Raspberry Pi, el estudio comprende aspectos técnicos que ayudan a determinar el funcionamiento interno para la normal operatividad del dispositivo; para ello se procedió con la recopilación y compilación de la información a través de varios capítulos que acogen y describen aspectos que no han sido demostrados aún en otros documentos o investigaciones.

Posteriormente se realizó la instalación y configuración de un servidor de VoIP sobre un Raspberry Pi basado en código abierto específicamente se utilizó una distribución del sistema operativo Linux CentOS con el propósito fundamental de incrementar la calidad de la red WiFi en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Entre los propósitos llevados a cabo se destaca el análisis a las funciones de voz y datos en el servidor a través del estudio del tráfico en la red de tal forma que se pueda cuantificar la factibilidad de la cobertura WiFi en los clientes móviles. De igual forma se logró determinar a través de diferentes ensayos técnicos los procesos internos que realiza el Raspberry Pi una vez que inició sus operaciones como servidor de VoIP en una red WiFi; así como la descripción del tipo de comportamiento obtenido en el equipo.

Se define que el Raspberry Pi es una herramienta de trabajo con un potencial aun no explotado en su totalidad, provee del soporte y compatibilidad con muchas soluciones informáticas en especial en el medio de las telecomunicaciones, gracias a que permite adquirir, desarrollar destrezas, a la vez mejorar las habilidades desde la fase de estudio, diseño e implementación hasta el acoplamiento de forma profesional del equipo en múltiples proyectos, si bien es cierto existen varias limitaciones con relación al dispositivo por sus dimensiones y la capacidad de procesamiento de datos con la que cuenta actualmente; pero pese a todo lo experimentado en esta investigación el equipo como servidor de VoIP siempre se mantuvo con disponibilidad del servicio en óptimas condiciones al 100%, aún en situaciones críticas con una fluctuaciones entre el 30% y el 50%

a casusa de saturación de procesos; lo cual fue resuelto de manera inmediata luego de que se desinstalaran las aplicaciones que hacían mayor consumo de procesamiento de datos y utilización de memoria, logrando así un mejor ambiente operativo.

Con relación a la cobertura de la red WiFi esta varía en función del acoplamiento y despliegue equipos de acceso inalámbrico, también depende de la forma en la que se planifique la red como tal (estándar a utilizar, políticas de acceso, canales de transmisión, niveles de interferencia, distancia mínima y máxima entre cada dispositivo inalámbrico); cabe indicar que la mayoría de la redes inalámbricas que fueron objeto de estudio en el estado de la red mediante el monitoreo y análisis de su espectro se verificó que los niveles de interferencia son altos, razón por la cual afectan a la cobertura de las demás redes aledañas.

En consecuencia, se define que el comportamiento obtenido en las diferentes pruebas a las que se sometió al servidor de VoIP basado en Raspberry Pi han sido optimas, representando un desempeño de alta disponibilidad, con capacidad de crecimiento previo al diseño e incorporación de complementos técnicos que ayuden a robustecer su funcionamiento, su capacidad de procesamiento de datos, el equipo fue capaz de albergar comunicaciones simultaneas de audio-video de un máximo de 40 usuarios; adicionalmente mantuvo la capacidad de controlar y monitorear de cada una de sus conversaciones sin perder la sincronización con la red WiFi.

### **7.3 Presentación de los resultados**

Las pruebas fueron realizadas en primera instancia con una población de 40 usuarios conectados directamente desde sus dispositivos móviles al servidor a través de la red WiFi establecida para el efecto; luego se procedió con la adecuación de la parte complementaria del proyecto lo cual consiste en la agregación de la paquetería lógica para el monitoreo de la red, control de tráfico, ancho de banda de la red, monitoreo del tráfico SIP que genere el servidor de VoIP, soporte lógico para la herramienta Analizador de tráfico y protocolos (*Wireshark*), *Supervisor de Ancho de Banda (VNSTAT)*, *Analizador de tráfico SIP (SNGREP)*, *Analizador de ancho de banda IFTOP*, *Administrador de procesos*

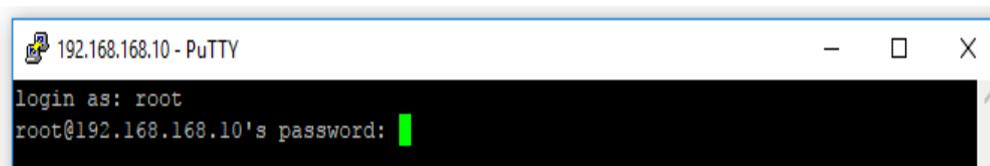
*internos (HTOP)* y demás librerías necesarias para una correcta actualización de los repositorios y funcionamiento del equipo.

Posterior a todo el procedimiento anteriormente descrito se desarrolló una interfaz de en modo consola para la administración remota del equipo la misma que está escrita en código bash con el objetivo de mejorar la experiencia del usuario durante el proceso de administración del servidor de VoIP; este procedimiento se lo aplica con el interés de facilitar el trabajo del usuario que no posea conocimiento de informática o telecomunicaciones.

La interfaz entra en funcionamiento en el instante que el administrador o usuario encargado del servidor se conecta al equipo de manera local o remota; proceso en el cual el sistema solicita la validación a través del usuario y contraseña del individuo; luego de realizar este proceso, se mostrará de forma automática en la pantalla un menú en el cual hay varias opciones que sin lugar a duda facilitarán el trabajo del administrador del servidor de VoIP.

Para el ingreso al equipo es necesario realizar la autenticación de usuario y contraseña, tal como se aprecia en la *Figura 7.5*.

- *Usuario o user = root*
- *Contraseña o password = ASDasd123.*



**Figura 7. 5** Conexión remota en la que se solicitan las credenciales de autenticación.

Una vez que el usuario se haya validado como administrador del servidor automáticamente en pantalla se ejecutará una interfaz en la cual solo se visualiza un menú de opciones, tal como se indican en las *Figuras 7.6 y 7.7*.

MENÚ DE OPCIONES	
1)	Ver Configuración de la Red.
2)	Monitor SIP.
3)	Monitor de Red.
4)	Apagar el Equipo.
5)	Gráficas del Ancho de Banda.
6)	Reiniciar el Equipo.
7)	Visualizar procesos.
8)	Monitor Wireless.
9)	Salir.

**Tabla 28** Despliegue del menú de opciones del administrador del servidor.

En la *tabla 28* se detalla las opciones que posee el usuario principal para gestionar el sistema.

```

carlossotov. ~ root@elx:~ -- ssh root@192.168.168.10 -- 159x53
Estudio del Comportamiento de un Servidor de VoIP basado en Raspberry PI
Seleccione una opción:
1) Ver configuración de Red
2) Monitor SIP
3) Monitor de Red
4) Gráficas de Ancho de Banda
5) Apagar el Equipo
6) Reiniciar el Equipo
7) Visualizar Procesos
8) Monitor Wireless
9) Salir
Indica una opción: █

```

**Figura 7. 6** Conexión remota al servidor de VoIP.

En la *Figura 7.6* en la cual se constata el menú de opciones para el administrador del servidor, con el objetivo de facilitar el trabajo de administrar el equipo en el caso de que no posea mayor conocimiento de informática o de sistemas operativos.

```

0
-----
Has seleccionado la opción 1
-----
Estudio del Comportamiento de un Servidor de VoIP basado en Raspberry PI
Seleccione una opción:

1) Ver configuración de Red
2) Monitor SIP
3) Monitor de Red
4) Gráficas de Ancho de Banda
5) Apagar el Equipo
6) Reiniciar el Equipo
7) Visualizar Procesos
8) Monitor Wireless
9) Salir

Indica una opción: eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
inet 192.168.168.10 netmask 255.255.255.192 broadcast 192.168.168.63
ether b8:27:eb:bi:fd:ee txqueuelen 1000 (Ethernet)
RX packets 32953 bytes 6817725 (6.5 MiB)
RX errors 0 dropped 64 overruns 0 frame 0
TX packets 28830 bytes 7544971 (7.1 MiB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
loop txqueuelen 1 (Local Loopback)
RX packets 21199 bytes 5782777 (5.5 MiB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 21199 bytes 5782777 (5.5 MiB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

```

Figura 7. 7 Estado de la red una vez establecida la conexión.

En la *Figura 7.7* se verifica el estado de la red mediante la comprobación de la conexión y configuración del direccionamiento IP del equipo a través de la opción #1. Invoca a la herramienta *ifconfig*.

```

Current Mode: Online [any]          Dialogs: 10
Match Expression:                  BPF Filter:
Display Filter:

  Seq  Method      SIP From          SIP To            Msgs Source          Destination      Cal
  [ ] 1 REGISTER 200@192.168.168.10 200@192.168.168.10 12 192.168.168.56:46849 192.168.168.10:5060
  [ ] 2 OPTIONS Unknown@192.168.168.10 200@192.168.168.56:46849 2 192.168.168.10:5060 192.168.168.56:46849
  [ ] 3 NOTIFY Unknown@192.168.168.10 200@192.168.168.56:46849 2 192.168.168.10:5060 192.168.168.56:46849
  [ ] 4 OPTIONS Unknown@192.168.168.10 200@192.168.168.56:46849 2 192.168.168.10:5060 192.168.168.56:46849
  [ ] 5 NOTIFY Unknown@192.168.168.10 200@192.168.168.56:46849 2 192.168.168.10:5060 192.168.168.56:46849
  [ ] 6 INVITE 200@192.168.168.10 400@192.168.168.10 9 192.168.168.56:46849 192.168.168.10:5060
  [ ] 7 INVITE 200@192.168.168.10 400@192.168.168.53:5060 5 192.168.168.10:5060 192.168.168.53:5060
  [ ] 8 OPTIONS Unknown@192.168.168.10 200@192.168.168.56:46849 2 192.168.168.10:5060 192.168.168.56:46849
  [ ] 9 NOTIFY Unknown@192.168.168.10 200@192.168.168.56:46849 2 192.168.168.10:5060 192.168.168.56:46849
  [ ] 10 OPTIONS Unknown@192.168.168.10 192.168.168.10 2 192.168.168.10:5060 192.168.168.10:5060

```

Figura 7. 8 Verificación de las conexiones entre los usuarios.

En la *Figura 7.8* se constata las conexiones inter usuarios, así como las diferentes llamadas telefónicas internas y externas de los usuarios móviles en la red WiFi a través del servidor de VoIP, proceso que se invoca a través de la opción #2 herramienta SNGREP.

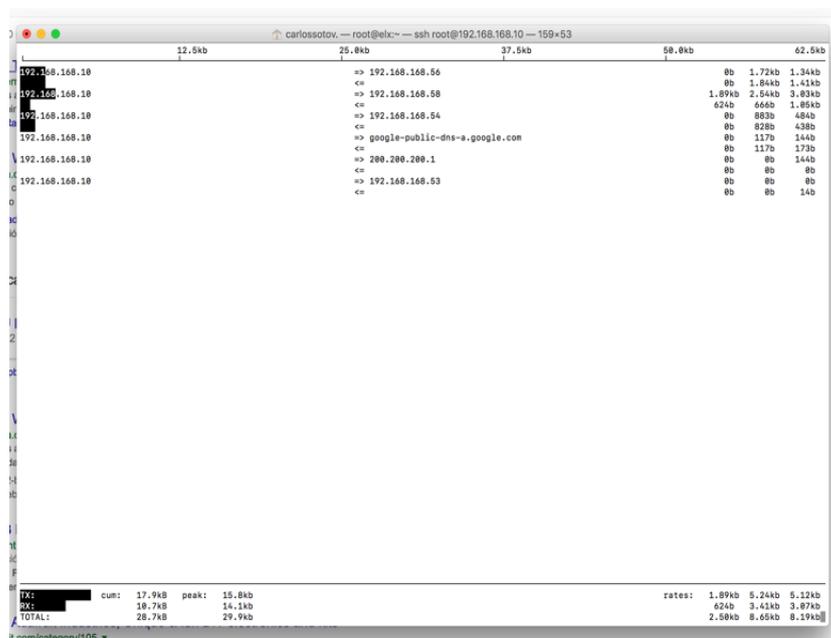


Figura 7. 9 Verificación en el estado de las conexiones.

Se comprueba las conexiones entrantes, salientes desde y hacia el servidor, así como también las conexiones establecidas hacia el Internet desde la red WiFi, proceso que es invocado a través de la opción #3 con la herramienta IFTOP, mediante la *Figura 7.9* se observa las conexiones citadas.

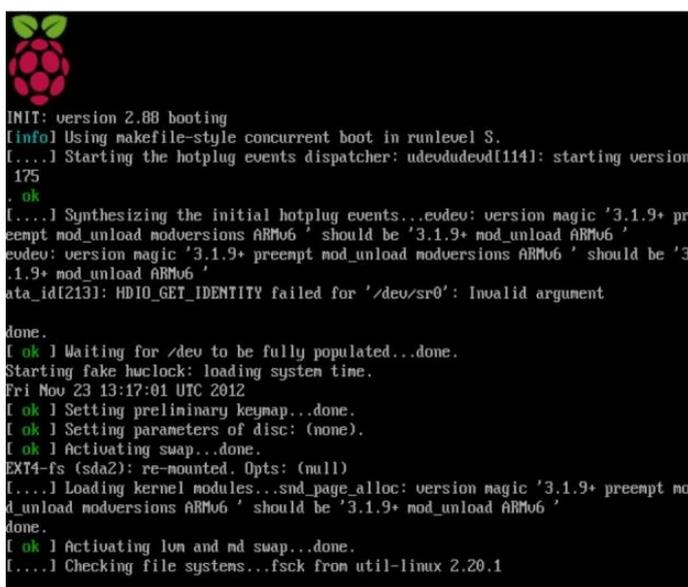


Figura 7. 10 Verificación del cese de funciones y apagado del sistema.

Mediante la *Figura 7.10* se comprueba que el dispositivo recibió la instrucción de paralizar todos sus procesos y de forma inmediata disponer que el equipo se apague a través de la opción # 4 proceso que es invocado a través de *halt -p*.

```

Has seleccionado la opción 5
-----
Estudio del Comportamiento de un Servidor de VoIP basado en Raspberry Pi
Seleccione una opción:
1) Ver configuración de Red
2) Monitor SIP
3) Monitor de Red
4) Opciones de Ancho de Banda
5) Monitor de Ancho de Banda
6) Monitor de Equipos
7) Visualizar Procesos
8) Monitor Múltiple
9) Salir

Indice una opción: eth0
-----
| 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 00 01 02
-----
h rx (KB/s)  tx (KB/s)  h rx (KB/s)  tx (KB/s)  h rx (KB/s)  tx (KB/s)
03 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
04 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
05 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
06 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
07 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
08 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
09 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
01 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
02 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

**Figura 7.11** Estado del ancho de banda de la red.

En la *Figura 7.11* se comprueba el estado del ancho de banda de la red en forma general a través de la opción # 5 proceso que es invocado a través de *vnstat*.

```

Color Bandwidth Meter

Interface          Receive          Transmit          Total
vmnet0             0.00 B/s        0.00 B/s         0.00 B/s
eth0               3.74 MB/s      67.15 kB/s       3.81 MB/s
lo                 0.00 B/s        0.00 B/s         0.00 B/s
vmnet1             0.00 B/s        0.00 B/s         0.00 B/s

Interface          eth0
Address            ██████████

Up/down | q Quit | b Bits/Bytes | +- Update interval (1000ms)

```

**Figura 7.12** Visualización de los parámetros del ancho de banda.

En la *Figura 7.12*, se comprueba el estado del ancho de banda en el servidor de VoIP en forma general a través de la opción # 5 proceso que es invocado a través de *cbm* o en su defecto escribiendo la orden *cbm* y automáticamente se inicializaría la herramienta.

```

Starting /etc/rc.local Compatibility...
Starting getty on tty2-tty6 if dbus and logind are not available...
Starting LSB: Start NTP daemon...
Starting System Logging Service...
Starting Permit User Sessions...
[ OK ] Started Permit User Sessions.
My IP address is 192.168.3.41
[ OK ] Started getty on tty2-tty6 if dbus and logind are not available.
[ OK ] Started /etc/rc.local Compatibility.
[ OK ] Started Getty on tty6...
[ OK ] Started Getty on tty5...
[ OK ] Started Getty on tty4...
[ OK ] Started Getty on tty3...
[ OK ] Started Getty on tty2...
[ OK ] Started Getty on tty1...
Starting Serial Getty on ttyAMA0...
[ OK ] Started Serial Getty on ttyAMA0...
[ OK ] Reached target Login Prompts.
[ OK ] Started LSB: Start NTP daemon.
[ OK ] Started System Logging Service.
[ OK ] Reached target Multi-User System.
[ OK ] Reached target Graphical Interface.
Starting Update UTMP about System Runlevel Changes...
[ OK ] Started Update UTMP about System Runlevel Changes...

Raspbian GNU/Linux 8 minbian tty1
minibian login: _

```

**Figura 7.13** Verificación de la ejecución del sistema en Raspberry Pi.

A través de la *Figura 7.13* se comprueba y se verifica que el dispositivo Raspberry Pi en conjunto con el sistema operativo se está reiniciando a causa de la opción # 6 con *reboot*.

```

root@elc:~
0 [|||||] 22.9% Tasks: 61, 63 thr; 2 running
1 [|||||] 36.4% Load average: 2.42 2.45 2.35
2 [|||||] 70.1% Uptime: 23:37:20
3 [|||||] 73.3%
Mem[|||||] 135/970MB
Swp[ ] 0/0MB

PID USER PRI NI VIRT RES SHR S CPU% MEM% TIME+ Command
116 root 20 0 184M 7056 6768 S 64.9 0.7 15h11:06 /usr/lib/systemd/
1324 root 20 0 5212 2916 2648 R 48.5 0.3 11h02:00 sh /home/alvaro/m
217 root 20 0 31784 2500 2232 S 34.1 0.3 7h27:14 /sbin/rsyslogd -n
254 root 20 0 31784 2500 2232 S 21.0 0.3 4h29:52 rs:main O:Reg
252 root 20 0 31784 2500 2232 S 13.8 0.3 2h57:21 in:imuxsock
27216 root 20 0 5480 2832 2436 R 6.6 0.3 0:00:51 htop
233 root 20 0 8808 3396 3120 S 4.6 0.3 47:23:97 /usr/bin/abrt-wat
845 asterisk 0 -20 95552 34708 19344 S 1.3 3.5 17:45:16 /usr/sbin/asteris
1457 asterisk 0 -20 95552 34708 19344 S 0.7 3.5 9:29:83 asterisk
1613 asterisk 0 -20 95552 34708 19344 S 0.7 3.5 6:56:25 asterisk
1156 asterisk 20 0 15120 11588 3632 S 0.7 1.2 5:40:05 /usr/bin/perl /va
882 mysql 20 0 294M 39220 8968 S 0.7 3.9 2:45:55 /usr/libexec/mysq
4960 root 20 0 13984 6868 6028 S 0.0 0.7 0:00:28 sshd: root@pts/0
1 root 20 0 6196 4444 3144 S 0.0 0.4 0:11:37 /sbin/init
F1Help F2Setup F3Search F4Filter F5Tree F6SortBy F7Nice --F8Nice --F9Kill F10Quit

```

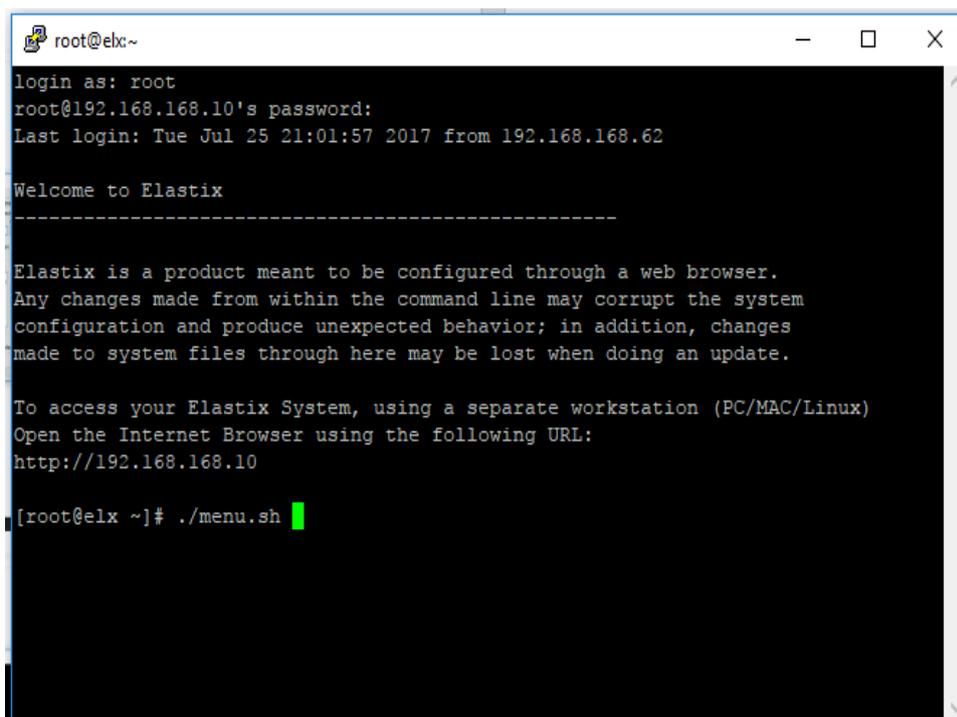
**Figura 7.14** Estado de la ejecución de los procedimientos internos del servidor.

Se comprueba el estado de los procesos que se encuentran en ejecución en el servidor de VoIP, se logra identificar con claridad los hilos de comunicación en base a la gestión de cada recurso del equipo a nivel de hardware administrado por software, permite ver el consumo de la memoria y el estado operativo del procesador a través de la opción # 7 con la herramienta HTOP; en la *Figura 7.14* se aprecia el instante cuando se instauran los procesos en el CPU al gestar los servicios VoIP.

```
Starting Nmap 6.40 ( http://nmap.org ) at 2014-11-09 03:10 CET
Initiating Ping Scan at 03:10
Scanning 256 hosts [2 ports/host]
Completed Ping Scan at 03:10, 2.41s elapsed (256 total hosts)
Initiating Parallel DNS resolution of 256 hosts. at 03:10
Completed Parallel DNS resolution of 256 hosts. at 03:10, 0.06s elapsed
Nmap scan report for 192.168.1.1
Host is up (0.023s latency).
Nmap scan report for 192.168.1.2
Host is up (0.00032s latency).
Nmap scan report for 192.168.1.24
Host is up (0.00026s latency).
Nmap scan report for 192.168.1.101
Host is up (0.0057s latency).
Nmap scan report for 192.168.1.204
Host is up (0.00058s latency).
Read data files from: /usr/bin/./share/nmap
Nmap done: 256 IP addresses (5 hosts up) scanned in 2.47 seconds
```

**Figura 7. 15** Estado de los puertos usados en el servidor.

Se verifica de manera clara los puertos utilizados en el servidor de VoIP y de igual forma los equipos que se encuentran conectados al equipo mediante la red WiFi a través de la opción # 8 con la orden nmap, tal como se aprecia en la *Figura 7.15*.



```
root@elx:~  
login as: root  
root@192.168.168.10's password:  
Last login: Tue Jul 25 21:01:57 2017 from 192.168.168.62  
  
Welcome to Elastix  
-----  
Elastix is a product meant to be configured through a web browser.  
Any changes made from within the command line may corrupt the system  
configuration and produce unexpected behavior; in addition, changes  
made to system files through here may be lost when doing an update.  
  
To access your Elastix System, using a separate workstation (PC/MAC/Linux)  
Open the Internet Browser using the following URL:  
http://192.168.168.10  
  
[root@elx ~]# ./menu.sh
```

Figura 7. 16 Cierre de sesión del usuario principal.

En la *Figura 7.16*, se verifica que el usuario administrador del servidor de VoIP ha decidido salir de la interfaz de administración a través de la opción # 9 con la orden *exit*; en el caso de querer ejecutar la interfaz nuevamente solo basta escribir el guión *menú.sh* y haría su aparición el *shell bash* nuevamente.

Para el análisis final de los resultados de esta investigación se realiza un proceso concluyente en el cual se consideran la importancia del análisis descriptivo junto con la interpretación y presentación de resultados a través de los siguientes puntos, donde se acoge los aspectos más importantes desde el inicio hasta el final de las pruebas y ensayos realizados.

### 7.3.1 Asterisknow

#### Nivel De Influencia

EL dispositivo mantiene un comportamiento débil en cuanto a la carga de trabajo en la red WiFi, no soporta multitarea en conjunto con el software

adicional propuesto, entra en inhibición y deja de funcionar con normalidad cuando se habilita el servicio de video llamadas.

### **Software Adicional**

- Sngrep
- lftop
- Inssider
- Wireshark
- htop
- Jabber
- Bash
- Nload
- Vnstat
- Cbm

### **Contrates Con Los Objetivos**

Se documentó lo relativamente necesario a FreePBX, se configuró un servidor de VoIP sobre el Raspberry Pi y se hizo el despliegue de la red WiFi, sin embargo, el rendimiento no se ajusta al desempeño que se desea para establecer comunicaciones internas-externas de alta calidad y estabilidad en los canales de transmisión.

### **Similitud Con Otras Investigaciones**

No se evidencia la existencia de otra investigación que haga referencia a un estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi con AsteriskNow y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi.

Se procedió con la respectiva consulta en la biblioteca general de la ESPOL, se hizo la consulta a través de los canales digitales posibles y se verifica que no existe.

Se considera pertinente indicar que hay una variación denominada Implantación de un sistema VoIP basado en Asterisk por Javier Barberán

Plaza, el mismo que se orienta al aprovisionamiento del servicio a través de un servidor implementado en un computador de escritorio.

### **7.3.2 Fedora**

#### **Nivel De Influencia**

Durante la instalación y acoplamiento del software en el equipo se comprobó que el procedimiento se ejecutó con total normalidad; posteriormente se evidencia incompatibilidad con el software adicional Inssider, se registra saturación interna y provoca conexiones erráticas entre los usuarios de la red y paralelamente el servidor de correo electrónico dejó de funcionar.

#### **Software Adicional**

- Sngrep
- lftop
- Inssider
- Wireshark
- htop
- Jabber
- Bash
- Nload
- Vnstat
- Cbm

#### **Contrates Con Los Objetivos**

Se documentó todo lo relacionado al servidor de VoIP basado en Elastix Fedora para su posterior integración y despliegue de los servicios de VoIP a través de la red WiFi; sin embargo, se registra un mal funcionamiento en las comunicaciones internas afectando gravemente la cobertura de los clientes móviles al producir un comportamiento extraño a las políticas establecidas en la configuración del servidor, la instalación de los softwares debe ser manual

#### **Similitud Con Otras Investigaciones**

No se evidencia la existencia de otra investigación que haga referencia a un estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi con Elastix Fedora y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi.

Se procedió con la respectiva consulta en la biblioteca general de la ESPO, se hizo la consulta a través de los canales digitales posibles verificando que no existe.

Sin embargo, existe una investigación que acoge ciertos puntos de esta investigación salvo el caso que ella se encuentra orientada al aprovisionamiento de un Servidor de comunicaciones unificadas con Raspberry Pi y Micro-Elastix elaborado por David Peláez y Christian Tipantuña para el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

### **7.3.3 CentOS**

#### **Nivel De Influencia**

EL dispositivo mantiene un comportamiento altamente resistente a las exigencias de los usuarios de la red WiFi, el despliegue de la cobertura de red para los clientes móviles fue cubierto en un espacio de 1.500 m<sup>2</sup> y su tiempo de respuesta sigue siendo alto con relación a la saturación de canales de comunicación.

#### **Software Adicional**

- Sngrep
- lftop
- Inssider
- Wireshark
- htop
- Jabber
- Bash
- Nload
- Vnstat
- Cbm

#### **Contrates Con Los Objetivos**

Se documentó los aspectos más importantes de Elastix basado en CentOS; luego se procedió con la configuración un servidor de VoIP sobre el Raspberry Pi y se hizo el despliegue de la red WiFi, se incrementa el nivel de calidad en la red debido a la calidad de Voz del servidor, se registra un nivel muy alto del tráfico de red y un incremento en el procesamiento de datos en el equipo causado por la convergencia de los usuarios registrados en el Raspberry Pi.

### **Similitud Con Otras Investigaciones**

No se evidencia la existencia de otra investigación que haga referencia a un estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi con Elastix basado en CentOS y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi.

Se procedió con la respectiva consulta en la biblioteca general de la ESPO, se hizo la consulta a través de los canales digitales posibles, comprobando que no hay algún trabajo relacionado con el estudio del comportamiento de un servidor de VoIP sobre Raspberry Pi y su incidencia sobre clientes móviles en una red WiFi.

#### **7.3.4 Debian**

##### **Nivel De Influencia**

El dispositivo mantiene un comportamiento altamente resistente a las exigencias de los usuarios de la red WiFi, el despliegue de la cobertura de red para los clientes móviles fue cubierto en un espacio de 1.500 m<sup>2</sup> y su tiempo de respuesta sigue siendo alto con relación a la saturación de canales de comunicación. Sin embargo, el sistema operativo produjo un error que afecto directamente a sus repositorios de base no permitiendo la actualización ni instalación de ningún otro software adicional debido a la adición del repositorio *Empresa de soluciones informáticas de vanguardias (IRONTEC)* el mismo que es necesario para el despliegue de la herramienta SNGREP en compatibilidad con el monitor de redes inalámbricas inSSIDer;

posterior a ello debido al poco espacio en la tarjeta micro SD el servidor era lento comprometiendo las llamadas internas de los usuarios.

### **Software Adicional**

- Sngrep
- lftop
- Inssider
- Wireshark
- htop
- Jabber
- Bash
- Nload
- Vnstat
- Cbm

### **Contrates Con Los Objetivos**

Se documentó los aspectos más importantes de Elastix basado en Debian; luego se procedió con la configuración un servidor de VoIP sobre el Raspberry Pi y se hizo el despliegue de la red WiFi, se incrementa el nivel de calidad en la red debido a la calidad de Voz del servidor, se registra un nivel muy alto del tráfico de red y un aumento en el procesamiento de datos en el equipo causado por la convergencia de los usuarios registrados en el Raspberry Pi

### **Similitud Con Otras Investigaciones**

No se evidencia la existencia de otra investigación que haga referencia a un estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi con Elastix basado en Debian y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi.

Se procedió con la respectiva consulta en la biblioteca general de la ESPOL, y se hizo la consulta a través de los canales digitales posibles, se verifica que no existe trabajo relacionado con el estudio del comportamiento de un servidor de VoIP sobre Raspberry Pi y su incidencia sobre clientes móviles en una red WiFi.

## 7.4 Ventajas y desventajas

Los pros y contra de implementar el servidor de VoIP con las diferentes soluciones informáticas se destacan por medio de los siguientes puntos, en donde se expresa su comportamiento en base a los resultados de los ensayos denotados en apartados anteriores.

### 7.4.1 Raspberry Pi con Asterisknow

#### Ventajas

- Interfaz web estándar se visualizan todas las funciones de Asterisk
- Ligero en su funcionamiento y acoplamiento con el Raspberry Pi.
- Ligero y de fácil instalación en la versión modificada para Raspberry Pi.

#### Desventajas

- Los módulos y acoplamientos de paquetería lógica se deben realizar manualmente.
- No posee compatibilidad para herramientas de monitoreo de red.
- Presenta inestabilidad con la integración de Wireshark.
- Se inhibe con las video-llamadas.

#### Comportamiento

El comportamiento de obtenido en este servidor es moderado con tendencia a ser bajo debido a su estado de inhibición a raíz de la activación e instalación del equipamiento lógico para que el servidor de VoIP soporte video llamadas; posteriormente el Raspberry no responde a ningún tipo de conexión ya sea en forma directa por medio del teclado o de forma remota tipo SSH bloqueándose totalmente, debido a que Asterisk provoca un desbordamiento en la memoria como producto del desfase en la activación de los servicios modulares de Asterisk. En consecuencia, se considera un comportamiento no ideal para una plataforma de comunicaciones sobre Raspberry Pi.

### 7.4.2 Raspberry Pi con Fedora

#### Ventajas

- Contiene embebido los servicios de Asterisk.
- Provee de una interfaz gráfica amigable y de fácil administración.
- Compatible con Raspberry pi.
- Soporte para la mayoría de los proyectos de terceros.

#### Desventajas

- Instala una extensa cantidad de componentes por defecto la mayoría no son utilizables.
- El uso de la extensa paquetería instalada provoca que la interfaz gráfica se torne lenta.
- No hay soporte para FreePBX.
- No interpreta la instalación y agregación de repositorios de terceros para corregir errores de funcionamiento y acople.

#### Comportamiento

Su comportamiento es errático al integrar el sistema operativo del servidor de VoIP a repositorios y software adicional, se evidencia tardanza excesiva en iniciar, reiniciar-apagar el equipo debido a una sobre escritura de sus archivos a causa de integrar el repositorio de IRONTEC para dar soporte al monitor de trafico SIP SNGREP, este hecho afecto también al servidor de correo electrónico interno inhabilitando el *Agente de Transporte de Correo (MTA)* de Postfix y problemas en resolver las conexiones inter usuarios, en determinado instante el servidor llega a desconocer sus propias extensiones.

### 7.4.3 Raspberry Pi con CentOS

#### Ventajas

- Interfaz web estándar que embebe las funciones de Asterisk.

- Menor tiempo en configuración de la central.
- Proceso de inicio con mayor rapidez “0,05 Seg”
- Mantiene un ambiente controlado con relación al uso de paquetería adicional.
- Posee compatibilidad con Raspberry Pi 3.

### **Desventajas**

- Proceso de instalación complejo debido a los procedimientos que se deben ejecutar en la memoria micro SD antes de iniciar operaciones con el dispositivo.
- Su versión estable y de prueba para Raspberry Pi fue retirada de todos los repositorios y servidores de descarga de Internet.
- Requiere mayor capacidad de almacenamiento para el despliegue de software adicional.

### **Comportamiento**

El comportamiento de este servidor es adecuado al entorno del Raspberry Pi, desde el proceso de instalación, acoplamiento e integración de los aditamentos requeridos para esta investigación, se procedió con las pruebas de error y todas fueron exitosas, se realizó saturación del canal de comunicación, el servidor respondió con tiempos de respuestas óptimos, se verifica que el nivel de compatibilidad con los archivos de configuración de las aplicaciones y servicios que no son nativos en el sistema operativo funcionan con alto rendimiento; una limitante en la versión de Elastix para Raspberry Pi es que mientras se ejecute en una tarjeta de memoria de 4 u 8 Gigabyte su funcionamiento suele ser lento y en ocasiones errático en el acceso vía Web y vía SSH esto se produce por coparse todo el espacio disponible con las actualizaciones, agregaciones de paquetes y repositorios lo cual requiere de espacio en disco,

En consecuencia, se describe que el comportamiento de Elastix basado en CentOS sobre Raspberry Pi es completamente idóneo para establecer un Servidor de VoIP, gracias a que ofrece estabilidad, compatibilidad de paquetería, equipamiento lógico para el desarrollo, instalación y configuración de soluciones informáticas sobre su plataforma.

#### **7.4.4 Raspberry Pi con Debian**

##### **Ventajas**

- Proceso sencillo de instalación en Raspberry Pi 3.
- El uso del orden apt-get hace más fácil la instalación de paqueterías y librerías necesarias para el acoplamiento de software adicional
- La versión de 32 bits se despliega y funciona de mejor manera en el dispositivo.
- Versión liviana para Raspberry.

##### **Desventajas**

- Su versión en 64 bits resulta ser muy pesada y dificultosa en Raspberry Pi en el despliegue.
- No interpreta los errores a causa de repositorios obsoletos.
- No permite la compilación de software adicional cuando los repositorios del sistema operativo se encuentran en estado corrupto.
- Consume la totalidad del espacio de la tarjeta micro SD una vez que se hayan descomprimido todo el sistema operativo durante la instalación. En 64 bits, en 32 se libera mayor cantidad de espacio en tarjeta, pero a su vez esta es ocupada por las instalaciones adicionales.

##### **Comportamiento**

El comportamiento de este servidor es una mezcla de potencia, practicidad porque dota de robustez, mayor rapidez a las funciones y servicios de Asterisk que se encuentran embebidos en Elastix para Raspberry Pi basado en Debian.

Sin embargo, mientras se hacían las pruebas necesarias con este servidor se produjo un error que no pudo ser superado por la plataforma basada en Debian; el error radica en la incompatibilidad con el repositorio de IRONTEC para dar soporte al monitor de tráfico SIP la igual que los repositorios necesarios para la instalación y activación de la herramienta inSSIDer para el monitoreo de los canales de comunicación, el espacio físico destinado en la memoria micro SD se agotó debido a las descargas, descompresión-compilación del software adicional junto con las actualizaciones del sistema operativo, pese a todo se describe el comportamiento como adecuado para un servidor de VoIP sobre Raspberry Pi, una limitante es controlar las instalaciones de paquetes y repositorios que sean estrictamente necesarios.

#### **7.4.5 Raspberry Pi con FreePBX**

##### **Ventajas**

- Proceso sencillo de instalación en Raspberry Pi 3.
- El uso del orden apt-get hace más fácil la instalación de paqueterías y librerías necesarias para el acoplamiento de software adicional
- La versión de 32 bits se despliega y funciona de mejor manera en el dispositivo.
- Versión liviana para Raspberry

##### **Desventajas**

- Su versión en 64 bits resulta ser muy pesada y dificultosa en Raspberry Pi en el despliegue.
- No interpreta los errores a causa de repositorios obsoletos.
- No permite la compilación de software adicional cuando los repositorios del sistema operativo se encuentran en estado corrupto.
- Consume la totalidad del espacio de la tarjeta micro SD una vez que se hayan descomprimido todo el sistema operativo durante la instalación.

En 64 bits, en 32 se libera mayor cantidad de espacio en tarjeta, pero a su vez esta es copada por las instalaciones adicionales

### **Comportamiento**

Comportamiento moderado con tendencia a ser bajo debido a módulos que se encuentran sin soporte técnico y comprometen el rendimiento del servidor de VoIP haciéndolo no adecuado para su implementación en Raspberry Pi debido a las siguientes causas:

Problema de comunicación en la red WiFi para los clientes móviles; de cada 10 extensiones creadas y registradas solo funcionaban 4, de las cuales 3 podían realizar llamadas a otros usuarios, y la 4ta extensión solo podía hacer llamadas, pero en ningún momento lograba recibir una llamada entrante.

Posteriormente las extensiones dejaron de funcionar a causa del proxy interno que invalidaba las extensiones contra la central marcándolos como inalcanzables.

El servidor una vez que se logró superar los inconvenientes de conectividad, entro en estado de inhibición cuando se implementó el soporte para video llamadas y se ejecutó al mismo tiempo un monitor de actividades basado en la herramienta Wireshark.

El proxy interno del servidor inhabilitaba las comunicaciones y bloquea las peticiones entrantes y salientes dado que determinaba como una extensión movida permanentemente por Asterisk.

#### **7.4.6 Raspberry Pi con Issabel**

##### **Ventajas**

- Continuación de Elastix y ofrece un ambiente mejorado para la administración en un entorno de servidor con mayores características.
- Mantiene compatibilidad con la mayoría de los repositorios de desarrollo.

- Posee un ambiente mejorado de los módulos de comunicación de mensajería instantánea y correo electrónico.
- Posee mejoras en el módulo de Asterisk.

### **Desventajas**

- Su versión no está pensada para entornos reducidos como el Raspberry Pi.
- En la instalación por defecto realiza el despliegue de una alta cantidad de paquetería y repositorios para su correcto funcionamiento.
- Máximos niveles de lentitud en una instalación modificada para el entorno de Raspberry Pi.
- No hay mayor información acerca del proyecto a nivel de soporte técnico.

### **Comportamiento**

Este servidor presenta un comportamiento moderado y al mismo tiempo un bajo rendimiento debido a que su versionamiento no está pensado para desplegarse en ambientes reducidos como el Raspberry Pi, por ello fue necesario ocupar todo el espacio de la memoria SD de 32 Gigabyte para su instalación y fue necesario el consumo de mayor hardware, razón por la cual el servidor de VoIP sobre Raspberry Pi en esta plataforma no fue ideal para realizar pruebas, en base a que su funcionamiento fue totalmente lento y errático en las comunicaciones. No se llegó a concretar una sola llamada; el proceso de registro de las extensiones y demás cuentas SIP / IAX2 creadas en el servidor no fueron aceptadas en el momento de asociar los dispositivos a las cuentas destinadas, debido a que el servidor internamente tardaba en reconocer la configuración debido a la lentitud producida entre la fusión del Servidor y el Software propuesto.

En consecuencia, se define al comportamiento de este servidor como no adecuado para su utilización en Raspberry Pi hasta que exista una versión específica para este tipo de dispositivos de características reducidas.

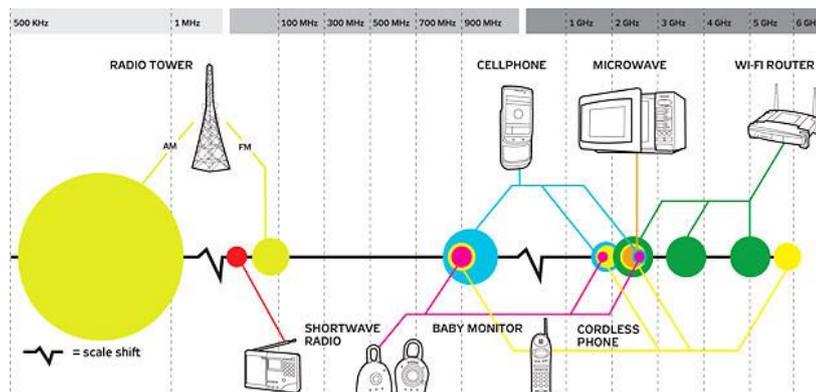
## **7.5 Comportamiento de la red WiFi antes y después de la implementación del aporte práctico**

Se disponen las potencialidades de la red WiFi que brinda acceso a Internet a los docentes-estudiantes de la facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación de la ESPOL antes y después de implementar el aporte práctico del presente trabajo investigativo, en los siguientes puntos se expresa las mejoras de la red en base a las falencias que ostentaba previas a la instauración del presente proyecto tecnológico.

### **7.5.1 Red WiFi / antes**

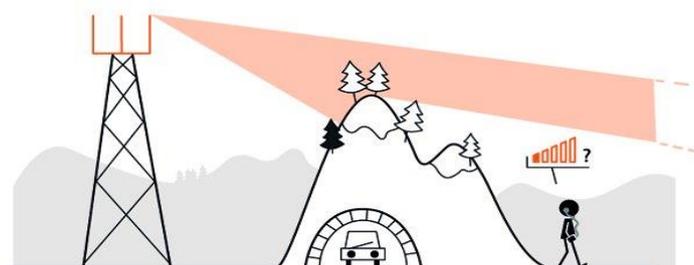
Se observa un incremento de redes inalámbricas en la FIEC la mayoría de ellas solo se las han instalado con el objeto de dotar del acceso a los servicios de Internet a los estudiantes, docentes, administrativos y visitantes, se observa que las redes no se acogen a un esquema cronológico ya que coexisten tres redes con mayor intensidad (FIEC, FIEC-WIFI y ESPOL-WIFI), básicamente mantienen un ambiente controlado a través de portales cautivos para el aseguramiento y validación de los usuarios que se conectan a la red, sin embargo, en nuestro análisis las tres redes cohabitan en los mismos canales de transmisión y su nivel de interferencia es alto con relación a otras 17 redes existentes en el entorno que las rodea.

Tomando en cuenta que la redes inalámbricas que se acogen bajo el estándar 802.11 a/b/g/n generalmente suelen ser inseguras y a su vez son víctimas de la interferencia causada por una serie de elementos que convergen sobre la frecuencia de 2.4Ghz, como el uso de teléfonos inalámbricos, equipos de microondas, dispositivos de Bluetooth y demás dispositivos electrónicos que operen o hagan uso de la misma frecuencia en mención; entre los eventos que se han observado se evidencia que la interferencia afecta la velocidad de transmisión de las conexiones en la red de los dispositivos conectados a ella ya sean estos equipos móviles, computadoras portátiles, Tablet y phablets, la cual es de 54Mbps, en la *Figura 7.17* se esquematiza la conectividad de la red implementada.



**Figura 7. 17** Esquema del ancho de banda según los equipos que se conectan a la red WiFi

Otros factores que se encuentra presente en la red WiFi de la FIEC es la modulación debido a la cercanía de las antenas de transmisión en la parte alta de la cima predios de la ESPOL, el encapsulamiento de protocolos, la distancia entre los encaminador o equipos de acceso inalámbrico, en este aspecto la ubicación de los distintos dispositivos y los materiales de construcción de los edificios o escenarios propuestos para las diferentes pruebas influyen en el funcionamiento de las conexiones de la red WiFi formándose una barrera que impide el normal funcionamiento de la red en función de la intensidad de su señal, debilitándola en lugares cerrados o intensificándola en lugares abiertos o viceversa, este aspecto depende principalmente del entorno de la red, la *Figura 7.18* expresa gráficamente los efectos de la modulación inhibida por la topografía de la ESPOL.

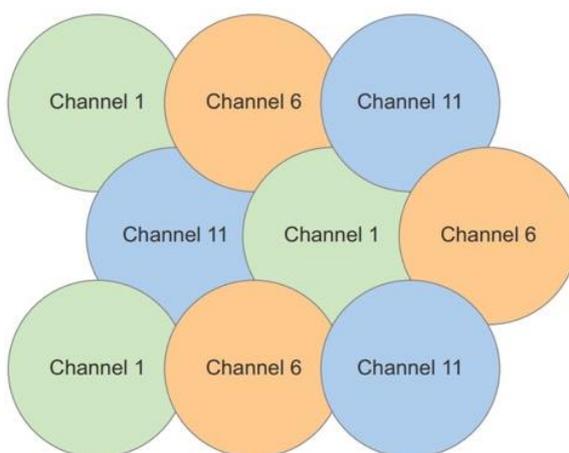


**Figura 7. 18** Efectos de la obstaculización de la señal debido a la topografía de la ESPOL

### 7.5.2 Red WiFi / después

Para reducir los efectos de la interferencia y solapamiento de canales en la red WiFi se procedió a realizar el siguiente esquema:

- Se configuraron los puntos de acceso, las estaciones ubicadas dentro del área de cobertura y se definió un conjunto de servicio el mismo que se encuentra orientado a ordenar en forma de celda cada una de las redes WiFi con el objetivo de establecer un mayor y mejor rango de cobertura y dotar del aprovisionamiento de alta movilidad a los usuarios móviles de la red.
- Cada equipo de acceso inalámbrico se lo reconoce por su dirección *MAC Adresss* del término en ingles *media access control address*.
- Se estableció un solo nombre de red o SSID (Mikrotik) para que los dispositivos móviles no pierdan la conexión en la red WiFi mientras transitan por toda el área de cobertura.
- Se definió canales diferentes a los que se encuentran saturados por las demás redes WiFi.



**Figura 7. 19** Encaminador central para gestionar las conexiones evitando accesos externos a la red

En la *Figura 7.19*, se estableció un encaminador central el cual se encarga de administrar las conexiones y el ancho de banda a cada equipo de acceso

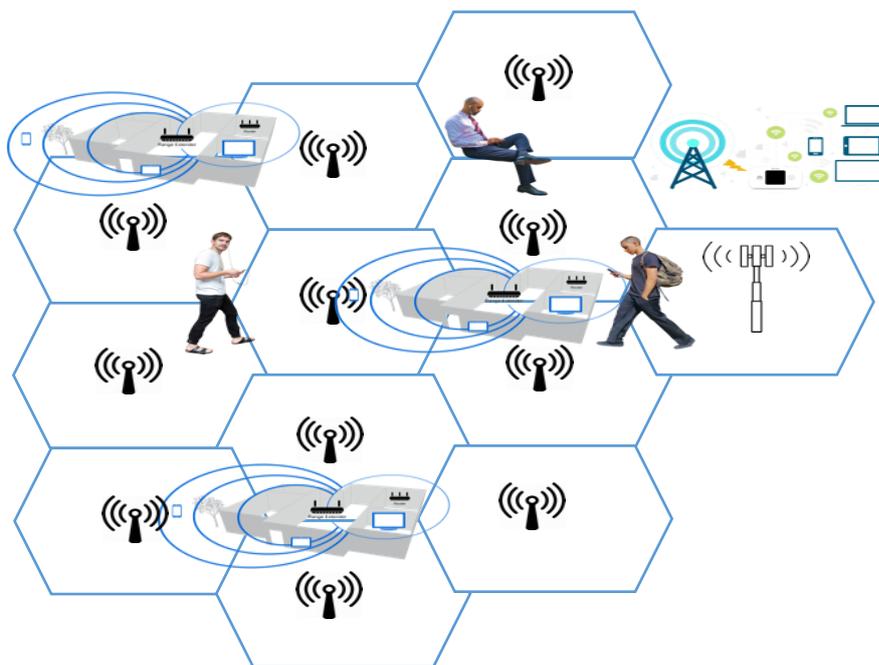
inalámbrico con el fin de controlar cualquier tipo de intrusión o intentos de acceso externos a la red WiFi

### 7.5.3 Cobertura

En un aspecto más amplio los resultados que se obtuvieron en esta investigación radican en el monitoreo y control inalámbrico utilizando canales de transmisión en los cuales no se encuentran transmitiendo los demás equipos de acceso inalámbrico dentro del área de cobertura de la red WiFi, se está operando en la banda de 2.4 Ghz lo cual implica una constante posibilidad de que se produzca una interferencia en algún momento dado en un próximo incremento de redes y equipos inalámbricos; se cuantifica el hecho de agregar políticas de uso y políticas enfocadas al crecimiento de la red como un mecanismo eficiente para evitar los problemas que afectan intrínsecamente a los usuarios y servicios publicados a través de la cobertura de la red WiFi, tal como se observa en la *Figura 7.20*.

Entre los logros alcanzados en la investigación se detallan las ventajas obtenidas en este proceso:

- Reducción del uso de energía en los dispositivos móviles.
- Incremento de la cobertura WiFi.
- Acceso a Internet con mayor rapidez.
- Acceso a los servicios de VoIP con mayor eficacia.
- Mejor calidad de experiencia del usuario móvil.
- Rapidez en la negociación de interconexión entre cada equipo de acceso inalámbrico con respecto a los clientes móviles.
- La saturación de los equipos inalámbricos se redujo al máximo.
- Canales de transmisión libres de interferencia.
- Se eliminó el solapamiento de canales.



**Figura 7. 20** Diagrama de accesibilidad inalámbrica que otorga la red WIFI implementada.

La *figura 7.20* expresa gráficamente los usos generales de las potencialidades WI-FI para los usuarios universitarios, que gestan sus actividades académicas y sociales mediante la red implementada.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según los ensayos realizados, análisis e interpretaciones demostradas en el desarrollo del documento se concluye lo siguiente:

La mejor solución al implementar el servidor de VoIP en Raspberry Pi es Elastix basado en CentOS, debido a que brinda agilidad, versatilidad y robustez al gestar los servicios tanto multimedia como cobertura de la red WiFi, además amalgama las funcionalidades del servidor gracias a que potencia las facultades internas de la red al permitir emplear configuraciones dinámicas sobre su plataforma para desarrollar soluciones particulares a las necesidades que ostenta la red al retroalimentar las exigencias del sitio donde se implemente; también es relevante destacar que presentó el mayor rendimiento y mayor velocidad de respuesta al saturarse el canal de comunicación.

Las pruebas de campo que se realizaron se basan experimentalmente en la transmisión y recepción de información entre los distintos puntos de la red WiFi, en el proceso se comprobó la existencia de solapamiento de canales, interferencia en la señal de la red, saturación, conflicto en los tiempos de respuesta entre los equipos de acceso inalámbrico y los usuarios o clientes móviles afectando directamente a la cobertura de la red inalámbrica de la FIEC.

De los resultados obtenidos, la mayor parte son tabulados e interpretados a partir de herramientas informáticas que visualizan las evidencias en forma visual y amigable garantizando que la implementación de VoIP proveen la operatividad confiable soportado en el Raspberry Pi dotando de portabilidad a la central IPBX y por ende compatibilidad con la mayoría de dispositivos móviles.

En las pruebas del funcionamiento del servidor de VoIP se evidencia que los atributos de comunicaciones proveen del funcionamiento adecuado para telefonía y los resultados obtenidos son los mejores. La calidad de la voz es óptima, fluida sin interrupción, interferencias o ruido; las llamadas desde y hacia la PSTN fueron posibles pudiendo realizar y recibir llamadas a números locales fijos y celulares sin ningún inconveniente, el IVR que se configuró hizo el desvío de las llamadas entrantes

hacia las extensiones requeridas haciendo posible una opción de bajo costo y con mucha versatilidad.

Se recomienda que se implementen servidores basados en soluciones de telecomunicaciones con licencia libre para optimizar los servicios de redes en el Ecuador, bajar los costos del servicio y re potencializar las áreas informáticas en las universidades, donde se gesta el conocimiento tomando la documentación pertinente como modelo para sustentar tales mociones e indagar más a fondo con la finalidad de desarrollar el ámbito socioeconómico nacional.

En cuanto a la implementación de un servidor de VoIP basado en Raspberry Pi se considera totalmente viable para entornos con poca población ejemplo de ello oficinas, pequeña empresa, laboratorios, lugares donde la convergencia y necesidades de comunicación no supere más de 30 usuarios conectados al servidor de VoIP.

Se recomienda realizar un estudio que acoja el estado del radio espectro en las inmediaciones de la FIEC a fin de proporcionar los elementos de juicio para para el mejoramiento del entorno de posibles implementaciones de nuevas redes inalámbricas y sistemas de comunicación a fin de eliminar los problemas actuales.

Se considera pertinente que las redes inalámbricas de la FIEC y de la ESPOL en general se acoplen en un solo ambiente controlado a través de un estudio del uso de canales de transmisión con una distribución estratégica que permita garantizar la mayor velocidad de conexión, mejorar los tiempos de respuesta entre los equipos de acceso inalámbricos y los clientes móviles.

Desarrollar e implementar una nueva versión de una solución de telecomunicaciones IPBX para entornos reducidos como Raspberry Pi o equipos similares a fin de potenciarlos a niveles no alcanzando y lograr una mejor cobertura a través de su utilización.

Es recomendable y necesaria la utilización de un analizador y monitor de protocolos e incidencias en la red WiFi como Wireshark para la verificación, depuración e interpretación de las actividades relacionadas a los servicios de VoIP.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BOLETÍN INTERNACIONAL DE LA UNESCO DE EDUCACIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y AMBIENTAL, «Ética de la Ciencia y la Tecnología,» UNESCO, PARÍS, 2004.
- [2] Edgar Landivar, «Comunicaciones Unificadas Con Elastix. Vol 2.,» Kindle, Bustos, 2011.
- [3] L. M. S. R.-H. A. G.-D. C. TARAZONA, «ESTUDIOS DE TECNOLOGÍAS PARA IMPLANTAR IP EN UNA ORGANIZACIÓN,» *Gerenc.Tecol.Inform*, vol. 11, nº 31, pp. 45-50, 2012.
- [4] H. U. Ayala, «Los retos de la regulación de la voz sobre Protocolo IP,» *Revista de derecho comunicaciones y nuevas tecnologías*, pp. 204-243, 2006.
- [5] J. K. H. M. a. S. P. ByungRae Cha<sup>1</sup>, «Global experimental verification of Docker-based secured mVoIP to protect against eavesdropping and DoS attacks,» *Wireless Communications and Networking-DOI 10.1186/s13638-017*, vol. 6, nº 3, pp. 1-14, 2017.
- [6] O. J. S. D. A. L. y. L. F. P. Rocio C. García, «Evaluación de la Calidad del Servicio para Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) en Redes WIMAX sobre Ambientes IP/MPLS,» *Información Tecnológica*, vol. 25, nº 2, pp. 40-53, 2014.
- [7] O. S.-D. L.-C. HERNÁNDEZ, «Estudio comparativo de la utilización de anchos de banda con los protocolos SIP e IAX,» *Tecnura*, vol. 16, nº 34, pp. 171-187, 2012.
- [8] M. N. P. Cabrera, «EL PROTOCOLO SIP: propuesta del IETF para la transmisión de VoIP,» *Tono Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.*, pp. 35-40, 2012.
- [9] MSc. (ng. Rafael Silot Trabajo, «Procesamiento de la VoIP: Fundamentos para implementación de redes con QoS,» *Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba*, pp. 20-26, 2010.

- [10] «Quarea,» Quarea ITC Management & Consulting, [En línea]. Available: <http://www.quarea.com/sites/quarea.com/files/files/imce/AsteriskA4-e.pdf>. [Último acceso: 08 07 2017].
- [11] «iptel,» Iptel S.A., 14 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.iptel.com.ar/ventajas-de-la-telefonía-ip/>. [Último acceso: 08 07 2017].
- [12] P. S. Cabezas, «Servicios de telecomunicaciones,» Asimtelec Cía. Ltda., 23 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://serviciosdetelecomunicaciones.com/que-es-una-central-telefonica/>. [Último acceso: 08 Julio 2017].
- [13] «Elastix,» Elastix Freedom to Communicate, [En línea]. Available: <https://www.elastix.org/es/informacion/>. [Último acceso: 08 07 2017].
- [14] Elastixtech, «Elastix,» 2016. [En línea]. Available: <http://elastixtech.com/>. [Último acceso: 08 07 2017].

## **ANEXOS**

### ***Anexo 1: GLOSARIO***

<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>ARM</b>	Advanced RISC Machine
<b>BASH</b>	Bourne again Shell
<b>BCR</b>	Business Communications Resources
<b>CBM</b>	Control Bandwidth Monitor.
<b>CCA</b>	Cisco Certified Network Associate Voice
<b>CDR</b>	Call Detail Record
<b>CHIPSET</b>	Circuit Integrated Auxiliary
<b>CODEC</b>	Codificador, Decodificador
<b>CORE</b>	Central Operative Root Environment
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>DAHDI</b>	Digium/Asterisk Hardware Device Interface
<b>DNS</b>	Domain Name System
<b>FIEC</b>	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
<b>GATEKEEPER</b>	Gateway Keep Environment Routine
<b>GPU</b>	Graphics Processor Unit
<b>GSM</b>	Global System for Mobile communications
<b>GUI</b>	Graphical User Interface

<b>HD</b>	High Definition
<b>HDMI</b>	High Definition Multimedia Interface
<b>HTOP</b>	the Homotopy Category of Topological Spaces
<b>IAX2</b>	Inter-Asterisk eXchange protocol segunda versión.
<b>ID</b>	User Identifier
<b>IFTOP</b>	Interface Filter Traffic Operational Protocols
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IPBX</b>	Internet Private Branch Exchange
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>IVR</b>	Interactive Voice Response
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>OS</b>	Operating System
<b>OSI</b>	Open System Interconnection
<b>PBX</b>	Private Branch Exchange
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>PCM</b>	Pulse Code Modulation
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network

<b>PTV</b>	Terminal Punto de Venta
<b>PYMES</b>	Pequeñas Y Medianas Empresas
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>RAS</b>	Remote Access Server
<b>RCA</b>	Radio Corporation of America
<b>RED</b>	Resource Equipment Data
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computer
<b>ROOTFS</b>	Root File System
<b>RTCP</b>	Real-time Transport Control Protocol
<b>RTP</b>	Real-time Transport Protocol
<b>SD</b>	Secure Digital
<b>SIP</b>	Session Initiation Protocol
<b>SMSC</b>	Short Message Service Center
<b>SNGREP</b>	Software Network Graphical Routine Environment Protocol
<b>SNMP</b>	Simple Network Management Protocol
<b>SSH</b>	Secure Shell
<b>SSL</b>	Secure Sockets Layer
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>UNESCO</b>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>VoIP</b>	Voz sobre el Protocolo de Internet
<b>WAN</b>	Wide Area Network
<b>WAV</b>	Waveform Audio File Format
<b>WEBRTC</b>	Web Real-Time Communication
<b>WiFi</b>	Wireless Fidelity
<b>XMPP</b>	Extensible Messaging and Presence Protocol