

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA IP PARA LA
EMPRESA ISACNET S.A.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGOS EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

ALBÁN MÉNDEZ CARLOS BILLY

billychess19@hotmail.com

LOOR RENGIFO JOB DANIEL

jdaniel.loor@hotmail.com

DIRECTOR: ING. FABIO GONZÁLEZ

fabio.gonzalez@epn.edu.ec

QUITO – AGOSTO - 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Carlos Billy Albán Méndez y Job Daniel Loor Rengifo, declaramos bajo juramento que el presente trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Carlos Billy Albán Méndez

Job Daniel Loor Rengifo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Billy Albán Méndez y Job Daniel Loo Rengifo, bajo mi supervisión.

Ing. Fabio González

Director del Proyecto

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la oportunidad de vivir en este mundo, y sobre todo por guiarme, corregirme, y estar conmigo a todo momento.

A la Empresa "Isacnet S.A.", por abrirnos las puertas, para desarrollar nuestras ideas y expandir nuestros conocimientos en el área de las soluciones informáticas.

Al Ing. Jaime Gallardo, cuya experiencia, conocimiento y aporte crítico, fueron bases sólidas en el desarrollo del proyecto.

Al Ing. Fabio González, por su apoyo y guía incondicional que permitió culminar este proyecto satisfactoriamente.

DEDICATORIA

Agradezco primero a Dios por darme la vida, salud, y inteligencia a mis padres que con su apoyo, lograron formar una persona de bien y un excelente ser humano, a mis hermanos que permitieron fomentar en mi la capacidad y el gusto por compartir conocimiento.

A la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, por permitirme formar parte de su grupo estudiantil, y a mis compañeros de aula.

Al grupo de trabajadores del área técnica de la empresa "ISACNET S.A.", ya que supieron darme fuerzas, y alegrías en todo momento, para ser un buen profesional, y ser humano.

Daniel Loor

DEDICATORIA

Para Dios que jamás me abandonó y siempre me ha brindado la sabiduría para poder seguir adelante según su voluntad.

A mis padres que en cada momento se han sacrificado por hacerme una persona de bien, me han brindado su amor, apoyo y comprensión.

Al hermano que Dios me ha dado en este mundo el cual siempre con sus palabras y actos me ha motivado a ser mucho más exitoso.

Al grupo de trabajadores la empresa "ISACNET S.A.", ya que colaboraron para que se realice de correcta manera este proyecto, me brindaron sus grandes conocimientos y me abrieron sus puertas para aprender.

Billy Albán

CONTENIDO

CONTENIDO	7
RESUMEN	10
CAPÍTULO 1.....	11
FUNDAMENTOS DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	11
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 OBJETIVOS	12
OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	13
CAPÍTULO 2.....	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1 ANTECEDENTES	14
2.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE VOIP	15
2.2.1. PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN.....	16
2.2.1.1. H.323.....	16
2.2.1.2. SIP (SESSION INITIATION PROTOCOL)	20
2.2.1.3. DIFERENCIAS ENTRE SIP Y H.323	23
2.3 IAX2 (Inter Asterisk Exchange)	24
2.4. OTROS PROTOCOLOS:.....	25
2.4.1. MGCP (Media Gateway Control Protocol)	25
2.4.2. SCCP (Skinny Client Control Protocol)	25
2.5. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE	25
2.5.1. UDP	26
2.5.2. TCP	26
2.5.3. RTP (Real-time Transport Protocol).....	26
2.5.4. RTCP (Real-time Transport Control Protocol)	27
2.6. CODECS	28
2.6.1. UIT G.711	28
2.6.2. UIT G.729	30
2.6.3. GSM (RPE-LTP).....	31
2.6.4. iLBC	31
2.6.5. Resumen de codecs	32
2.7 SISTEMAS DE TELEFONÍA IP.....	33
2.7.1. Asterisk	34
2.7.2. Estructura.....	34
2.7.3. Codecs que soporta	34

2.7.4. Protocolos con los que trabaja.....	35
2.7.5. Módulos del sistema.....	35
2.7.6. Versiones.....	35
2.7.7. Características del sistema.....	36
2.8. HARDWARE USADO EN LOS CLIENTES	38
2.8.1. Adaptadores analógicos:.....	38
2.8.2. Teléfonos IP.....	39
2.8.3. Tipos de teléfonos IP	40
CAPÍTULO 3.....	41
ANÁLISIS PREVIO	41
3.1. AMBIENTE DE PRUEBAS	41
3.2. PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN	41
3.2.1. REGISTRO	42
3.2.1.1. SIP	42
3.2.1.2. IAX2.....	43
3.2.2. ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA.....	44
3.2.2.1. SIP	44
3.2.2.2. IAX2.....	46
3.2.3. TASA DE BITS	47
3.2.3.1. SIP	49
3.2.3.2. IAX2.....	50
3.2.4. Conclusiones	51
3.3. CODECS	52
3.3.1. G.711.....	53
3.3.2. iLBC.....	53
3.4. HARDWARE.....	54
3.4.1. Teléfonos analógicos	54
3.4.2. Teléfonos IP.....	55
3.4.3. Conclusiones	56
CAPÍTULO 4.....	57
IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVIDORES.....	57
4.1. ARQUITECTURA.....	57
4.2. ALTA DISPONIBILIDAD.....	59
4.3. SISTEMA OPERATIVO.....	59
4.4. HARDWARE.....	60
4.4.1. Servidor principal.....	60
4.4.2. Servidor secundario.....	62
4.5. SOFTWARE	64
4.5.1. Instalación	65
4.5.2. Configuración	66

4.5.3. Configuraciones generales y extras	73
CAPÍTULO 5.....	75
PRUEBAS DE DESEMPEÑO	75
5.1. INTRODUCCIÓN	75
5.2. RESULTADOS.....	76
5.2.1 Trabajo continuo del servidor	76
5.2.2 Llamadas entrantes y salientes	78
5.2.3 Trabajo con tráfico de llamadas sobre el servidor	82
5.2.4 Reporte de uso de canales.....	83
5.2.5 Conclusiones.....	85
CAPÍTULO 6.....	87
CONCLUSIONES FINALES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	87
6.1. CONCLUSIONES FINALES	87
6.2. RECOMENDACIONES	89
6.3. TRABAJOS FUTUROS.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	94
RELACIÓN DE ANEXOS	99

RESUMEN

El presente proyecto de titulación consiste en implementar una red de telefonía IP en la empresa Isacnet S.A. Quito debido a que la empresa se ha expandido y ya existe infraestructura de telefonía IP en Guayaquil y Lima - Perú unificando el sistema y al mismo tiempo usando software libre. Durante el desarrollo de este proyecto se realiza una comparación de los diversos protocolos de señalización: SIP, IAX, IAX2; del hardware a utilizar: Teléfonos IP, ATAs; así como también de las diversas clases de codecs. Luego del análisis, se implementará la red de VoIP. Esta red consistirá en un servidor principal y un secundario. El servidor principal contará con el software Elastix y el servidor secundario contará con el software Trixbox y ambos tendrán un Sistema Operativo GNU/Linux (CENT OS). Una vez implementada la red de VoIP, se harán pruebas de esfuerzo para determinar la capacidad máxima de llamadas simultáneas que pueda soportar el sistema. Por último, se elaborará una recomendación formal a la empresa Isacnet S.A. sobre el uso de estas tecnologías.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Se vive en una era en la cual se necesita estar comunicado. El Internet, gracias al desarrollo de los protocolos TCP/IP, ha traído grandes avances y muchas posibilidades de servicios y aplicaciones que pueden usar esta red. Sin embargo, se presenta un problema: Internet en estos momentos no funciona tan óptimamente como se quisiera, lo que no permite dar calidad de servicio a las aplicaciones de tiempo real, como VoIP.

La telefonía IP, por otro lado, es una tecnología emergente en el mundo de las telecomunicaciones, y básicamente consiste en brindar los mismos servicios que la telefonía tradicional, pero usando como base los protocolos TCP/IP. Esto proporciona una gran ventaja, al darle mayor uso a la infraestructura ya establecida de datos en un área local, pero también grandes retos cuando se quiera implementar este servicio en Internet, pues no se cuenta con calidad garantizada.

Frente al carácter comercial de Internet, ha surgido una nueva red empresarial, se trata de la unión de varias redes de una empresa ecuatoriana que desea optimizar su infraestructura para mejorar sus comunicaciones. Es una empresa que tiene una tasa de bits máxima de datos muy buena, lo que le permite incluso obtener una video llamada con buena calidad.

La meta principal del presente trabajo es la de integrar la empresa mediante una red de telefonía en VoIP, implementar servicios de telefonía IP en una red pequeña, pero con la finalidad de disminuir costos de llamadas.

1.2 OBJETIVOS

La descripción mostrada líneas arriba permite plantear los siguientes objetivos para el desarrollo del proyecto de titulación:

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de telefonía IP para la empresa Isacnet S.A.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de la red de datos de la empresa.
- Diagnosticar el estado actual de la red telefónica de la empresa.
- Definir las áreas que se cubrirán con esta tecnología.
- Determinar los tipos de teléfonos y marcas así como la clase de equipos de telefonía IP.
- Probar y verificar el funcionamiento del sistema.

1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Al inicio del proyecto de titulación se muestran las listas de figuras, tablas y acrónimos (Glosario) usados a lo largo del desarrollo del presente proyecto. El proyecto de titulación contiene en total 6 capítulos, incluido el capítulo de Fundamentos. Cada capítulo se detalla a continuación:

El capítulo 1 explica los fundamentos del proyecto de titulación y se describen los objetivos.

El capítulo 2 es el marco teórico y presenta los diversos conceptos necesarios para el correcto entendimiento del proyecto de titulación.

El capítulo 3 analiza mediante implementaciones aisladas, las tecnologías descritas en el capítulo anterior.

Los capítulos 4 y 5 muestran la implementación de los servidores; las pruebas de desempeño a las que fueron sometidos y sus resultados.

Por último, el capítulo 6 da las conclusiones del trabajo y elabora una recomendación formal a la Empresa Isacnet S.A. sobre las tecnologías a ser usadas.

Adicionalmente se plantean trabajos futuros alrededor del tema desarrollado.

Al final se muestran las referencias usadas por los autores para la elaboración del presente proyecto de titulación, así como también la tabla de anexos usados.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Actualmente existen diversas empresas que ofrecen soluciones propietarias de servicios de telefonía IP, entre las cuales se encuentran Cisco con su Call Manager, Avaya con Multi Vantage, Alcatel, Mitel, etc. Estas compañías normalmente trabajan con estándares y protocolos propietarios, lo que dificulta su interacción con soluciones de otros fabricantes.

En cuanto a soluciones usando protocolos abiertos, existen varias implementaciones, entre las cuales destacan OpenPBX, PBX4Linux, YATE, Free Switch, Trixbox, Elastix y Asterisk, siendo la predominante esta última.

Desarrollada por Mark Spencer de la empresa Digium, Asterisk implementa todas las funcionalidades de una centralita telefónica (PBX) usando estándares abiertos, por lo que su interoperabilidad está asegurada.

Se han desarrollado amplios proyectos de telefonía IP con Asterisk, y varios de ellos involucran la implementación de teléfonos IP remotos.

Igualmente, otros tantos involucran alta disponibilidad en el servicio, de manera que la probabilidad de falla del sistema sea cercana al 0%. El presente proyecto de titulación propone una nueva arquitectura de redes de telefonía IP, combinando la alta disponibilidad con la implementación de extensiones remotas.

Es de particular atención el caso de las extensiones distantes, pues se requiere una conexión a Internet de banda ancha con QoS (calidad de servicio) para que haya una calidad de voz aceptable, lo que no se garantiza con la tecnología actual de Internet.

2.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE VOIP

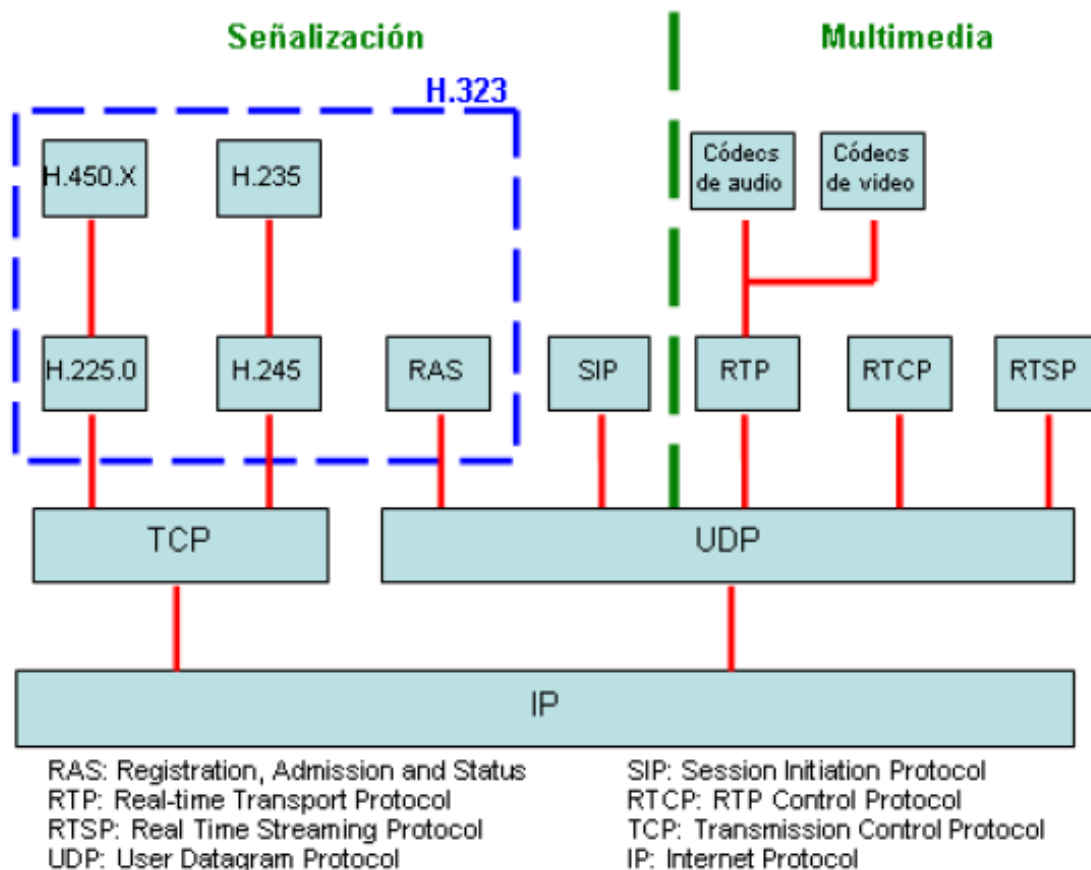


FIGURA 2.1. ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS DE VOIP

Fuente: [GAR2010]

Más adelante se explicarán estos protocolos poniendo énfasis en sus diferencias y sus características más relevantes. Adicionalmente, se compararán los diversos codecs usados en los protocolos de transporte. En el presente proyecto de titulación se usará el término codec como abreviatura de codificador/decodificador de señales de voz, es decir, convierte la señal de voz en un flujo de datos para que pueda viajar por algún medio de transporte. En este proyecto de titulación, el medio de transporte es la red IP de la empresa Isacnet S.A.

2.2.1. Protocolos de señalización

De acuerdo a la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en su recomendación H.323 [UIT2003], el protocolo de señalización se encarga de los mensajes y procedimientos utilizados para establecer una comunicación, pedir cambios de tasa de bits de la llamada, obtener el estado de los puntos extremos y desconectar la llamada.

2.2.1.1. H.323

H.323 es un estándar que norma todos los procedimientos para lograr sistemas audiovisuales y multimedios, por lo que engloba varios protocolos y estándares. Uno de estos procedimientos es la señalización de la llamada.

H.323 propone dos tipos de señalización [PAC2006]:

Señalización de control de llamada (H.225.0):

Este protocolo tiene dos funcionalidades. Si existe un gatekeeper en la red, define como un terminal se registra con él. Este proceso se denomina RAS (Registration, Admission and Status) y usa un canal separado (canal RAS).

Si no existiese un gatekeeper, define la forma como dos terminales pueden establecer o terminar llamadas entre sí (señalización de llamada). En este último caso se basa en la recomendación Q.9311¹.

¹ Esta norma establece el procedimiento de establecimiento de llamada en RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).

Señalización de control de canal (H.245):

Una vez que se ha establecido la conexión entre dos terminales usando H.225, se usa el protocolo H.245 para establecer los canales lógicos a través de los cuales se transmite contenido multimedia. Para ello define el intercambio de capacidades (tasa de bits máxima, codecs, etc.) de los terminales presentes en la comunicación.

Se usa RAS (Remote Acces Service) siempre y cuando un Gatekeeper esté presente en la red. El Gatekeeper es un componente opcional cuya función principal es el control de admisión. Es un intermediario entre los puntos terminales que permite el establecimiento de llamadas entre estos.

También puede enrutar la señalización hacia otro dispositivo para implementar funciones como desvío de llamadas.

Una llamada H.323 se caracteriza por las siguientes fases de señalización [MAR2006]:

Establecimiento de la comunicación.

Primero se tiene que registrar y solicitar admisión al Gatekeeper, para lo cual se usan los mensajes RAS. Luego, el usuario que desea establecer la comunicación envía un mensaje de SETUP, el llamado contesta con un mensaje de Call Proceeding.

Para poder seguir con el proceso, este terminal también debe solicitar admisión al Gatekeeper con los mensajes RAS y, una vez admitido, envía el Alerting indicando el inicio del establecimiento de la comunicación. Este mensaje Alerting es similar al Ring Back Tone de las redes telefónicas actuales. Cuando el usuario descuelga el teléfono, se envía un mensaje de Connect.

Señalización de control.

En esta fase se abre una negociación mediante el protocolo H.245 (control de canal). El intercambio de los mensajes (petición y respuesta) entre los dos terminales establece quién será maestro y quién esclavo, así como también sus capacidades y los codecs de audio y video soportados (Mensajes TCS, Terminal Capability Set). Como punto final de esta negociación se abre el canal de comunicación (direcciones IP, puerto) (Mensajes OLC, Open Logical Channel).

Audio

Los terminales inician la comunicación mediante el protocolo RTP/RTCP.

Desconexión

Por último, cualquiera de los participantes activos en la comunicación puede iniciar el proceso de finalización de llamada mediante los mensajes Close Logical Channel (CLC) y End Session Command (ESC). Una vez hecho esto, ambos terminales tienen que informarle al *Gatekeeper* sobre el fin de la comunicación. Para ello se usan los mensajes RAS DRQ (Disengage Request) y DCF (Disengage Confirm).

Las fases de una llamada se ilustran en la figura 2.2 con detalle:

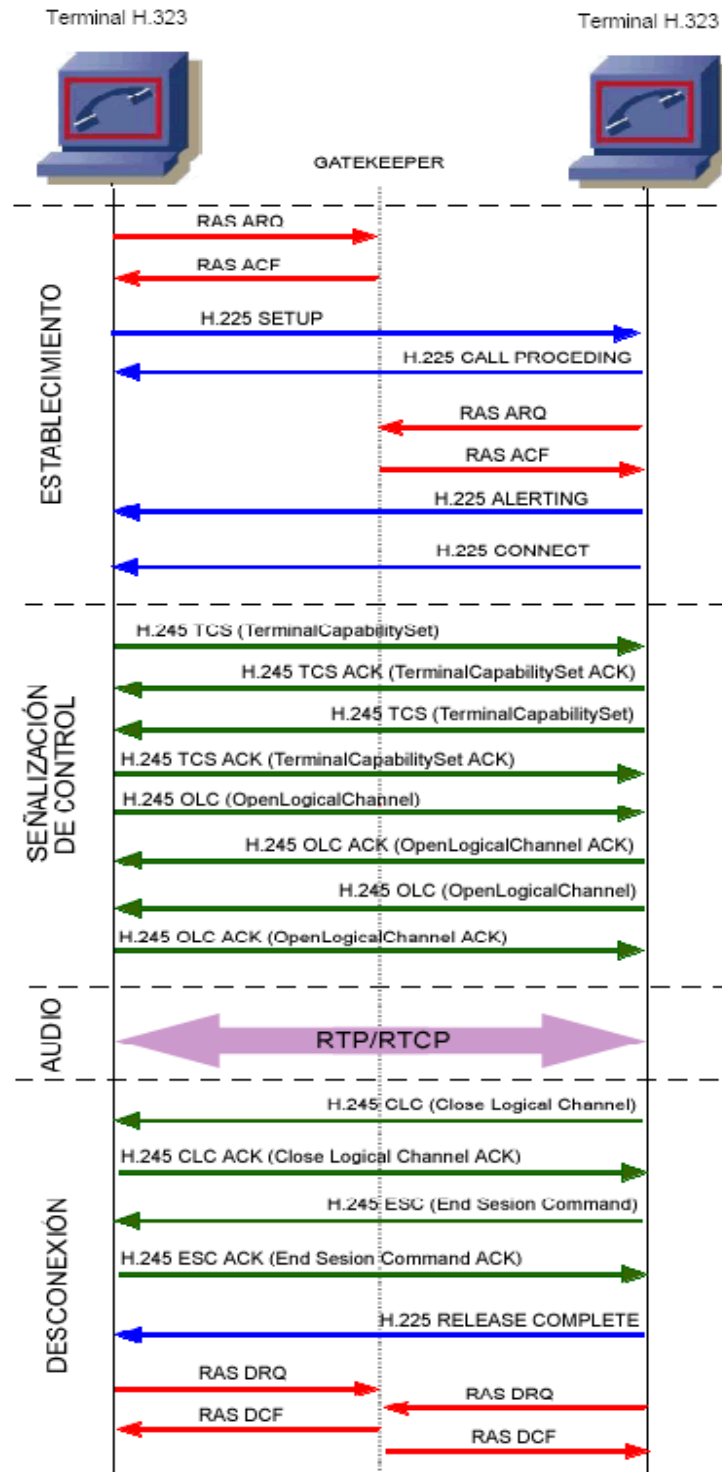


FIGURA 2.2. FASES DE UNA LLAMADA
 Fuente: [VOI 2010]

2.2.1.2. SIP (*Session Initiation Protocol*)

A diferencia de H.323, SIP tiene su origen en la comunidad IP, específicamente en la IETF (Internet Engineering Task Force); y no en la industria de las Telecomunicaciones (UIT). Este estándar está definido en [RFC2543] y luego con aclaraciones en [RFC3261]. Se tomará esta última RFC como base para el estudio.

SIP es similar al HTTP en muchos sentidos, incluso tiene algunos mensajes de error en común, como el “404 no encontrado” (404 not found) y el “403 servidor ocupado” (403 Server Busy) [MAR2006] [MOR2002].

Los componentes presentes en SIP son [MAR2006] [MOR2002]:

1. Agentes de Usuario (User Agent, UA): Existen dos tipos de agentes de usuario, los cuales están presentes siempre, y permiten la comunicación cliente-servidor:
 - a. Agente de usuario cliente (UAC): El UAC genera peticiones SIP y recibe respuestas.
 - b. Agente de usuario servidor (UAS): El UAS responde a las peticiones SIP.
2. Servidores SIP: Existen tres clases lógicas de servidores. Un servidor puede tener una o más de estas clases. Estas clases son las siguientes:
 - a. Servidor de Redirección (Redirect Server): Reencamina las peticiones que recibe hacia el próximo servidor.
 - b. Servidor Proxy (Proxy Server): Corren un programa intermediario que actúa tanto de servidor como de cliente para poder establecer llamadas entre los usuarios.

- c. Servidor de Registro (Registrar Server): Hace la correspondencia entre direcciones SIP y direcciones IP. Este servidor solo acepta mensajes REGISTER, lo que hace fácil la localización de los usuarios, pues el usuario donde se encuentre siempre tiene que registrarse en el servidor.

Se define dos tipos de mensajes SIP: Peticiones y Respuestas [RFC3261].

1. Peticiones SIP. Se definen 6 métodos básicos:

- a. INVITE: Permite invitar a un usuario a participar en una sesión o para modificar parámetros de una sesión ya existente.
- b. ACK: Confirma el establecimiento de la sesión.
- c. OPTION: Solicita información de algún servidor en particular.
- d. BYE: Indica término de una sesión.
- e. CANCEL: Cancela una petición pendiente.
- f. REGISTER: Registra al Agente de Usuario.

2. Respuestas SIP: Existen también mensajes SIP como respuesta a las peticiones. Existen 6 tipos de respuestas, que se diferencian por el primer dígito de su código.

Estas son:

- a. 1xx: Mensajes provisionales.
- b. 2xx: Respuestas de éxito.
- c. 3xx: Respuestas de redirección.
- d. 4xx: Respuestas de fallas de método.
- e. 5xx: Respuestas de fallas de servidor.
- f. 6xx: Respuestas de fallas globales.

Algunos de estos mensajes se aprecian en el ejemplo de comunicación ilustrado en la figura 2.3:

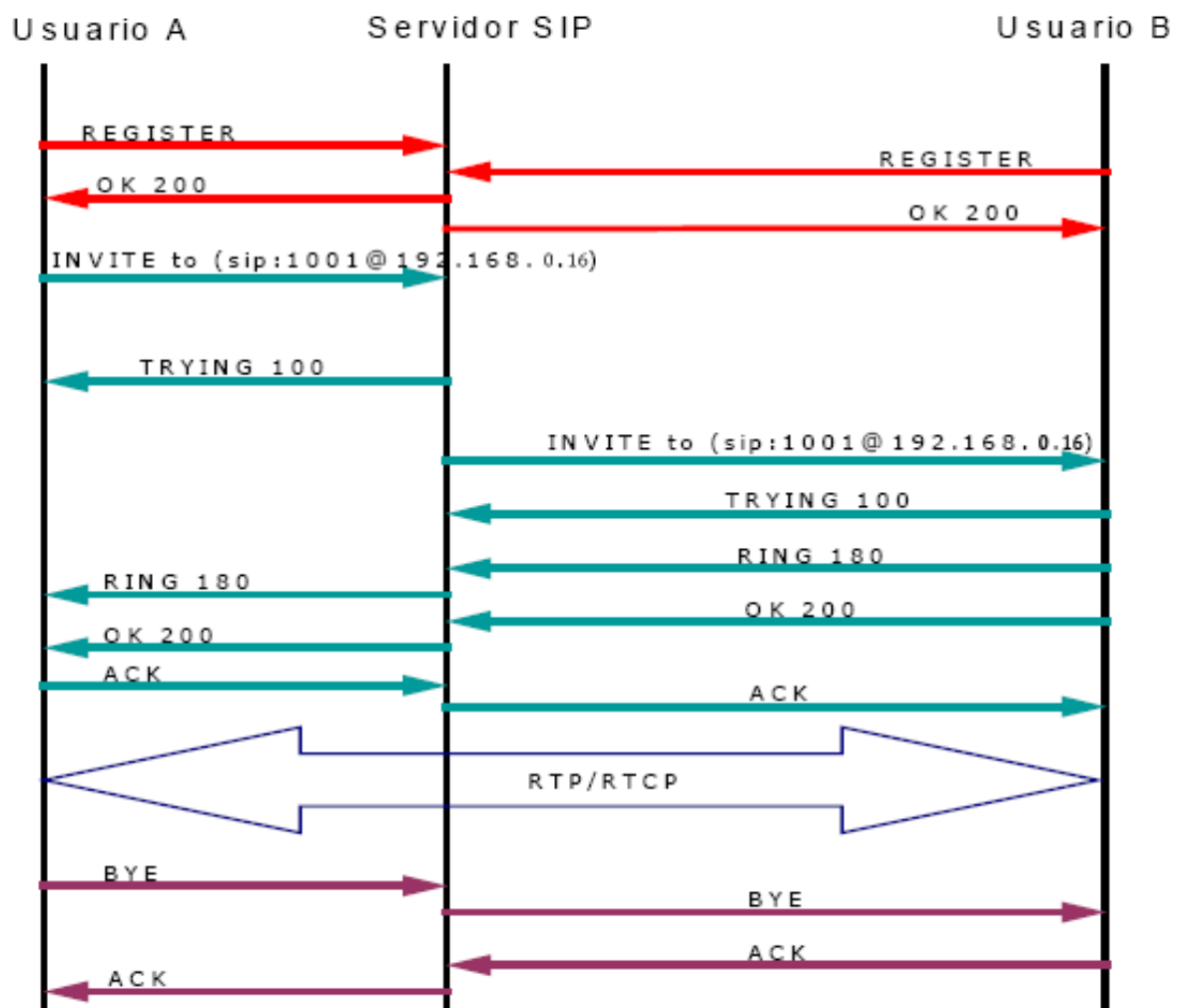


FIGURA 2.3. INTERCAMBIO DE MENSAJES EN SIP

Fuente: [MAR2006]

Las dos primeras transacciones tienen que ver con el registro de usuarios. El punto medio es el servidor que en esta etapa actúa como servidor de registro.

La siguiente transacción establece el inicio de sesión. El Usuario A (llamante) le manda un INVITE al Usuario B (llamado) a través del servidor, que redirecciona la llamada a este último. La sesión se establece cuando ambos puntos mandan la confirmación.

Cuando la sesión se ha establecido, entra a funcionar el protocolo de transporte (RTP, Real-time Transport Protocol), que es el encargado del transporte de la voz.

Cuando alguien quiere terminar la comunicación, manda la petición BYE que el servidor lo redirecciona al otro punto. Luego, este último envía la confirmación, terminando así la sesión. Cualquiera de los participantes puede terminar la conversación en cualquier momento.

2.2.1.3. Diferencias entre SIP y H.323

La principal diferencia es la velocidad: SIP hace en una sola transacción lo que H.323 hace en varios intercambios de mensajes. Adicionalmente, SIP usa UDP mientras que H.323 debe usar necesariamente TCP para la señalización (H.225 y H.245), lo que origina que una llamada SIP sea atendida más rápido [HER1999].

Otra diferencia importante es que H.323 define canales lógicos antes de enviar los datos, mientras que una unidad SIP simplemente publicita los codecs que soporta, más no define canales, lo que puede generar saturación de tráfico en casos de muchos usuarios, pues no se separa la tasa de bits necesaria para la comunicación [MAR2006].

2.3 IAX2 (Inter Asterisk Exchange)

Es el protocolo usado por Asterisk. La versión 1 de este protocolo ha caído en desuso, en favor de la versión 2 (IAX2). IAX2 es robusto, lleno de novedades y muy simple en comparación con otros protocolos. Permite manejar una gran cantidad de *códecs* y un gran número de *streams*, lo que significa que puede ser utilizado para transportar virtualmente cualquier tipo de dato. Esta capacidad lo hace muy útil para realizar videoconferencias o realizar presentaciones remotas.

IAX2 soporta *Trunking (red)*, donde un simple enlace permite enviar datos y señalización por múltiples canales. Cuando se realiza *Trunking*, los datos de múltiples llamadas son manejados en un único conjunto de paquetes, lo que significa que un datagrama IP puede entregar información para más llamadas sin crear latencia adicional. Esto es una gran ventaja para los usuarios de VoIP, donde las cabeceras IP son un gran porcentaje del ancho de banda utilizado.

IAX2 utiliza un único puerto UDP, generalmente el 4569, para comunicaciones entre puntos finales (terminales VoIP) para señalización y datos. El tráfico de voz es transmitido *in-band*, lo que hace a IAX2 un protocolo casi transparente a los cortafuegos y realmente eficaz para trabajar dentro de redes internas. En esto se diferencia de SIP, que utiliza una cadena RTP *out-of-band* para entregar la información. [WIK2 2010].

Todas estas características del IAX2 se deben a que en su diseño se basaron en muchos estándares de señalización y de transmisión de datos, quedándose solo con lo mejor de cada uno. Algunos protocolos tomados como base para el IAX2 son: SIP, MGCP y RTP (Real-time Transfer Protocol).

2.4. OTROS PROTOCOLOS:

2.4.1. MGCP (Media Gateway Control Protocol)

Este protocolo está basado en un modelo cliente/servidor, mientras que SIP y H.323 están basados en un modelo peer-to-peer. Este estándar está descrito en [RFC2705], donde se menciona que “este protocolo está diseñado para usarse en un sistema distribuido que se ve desde afuera como un solo gateway VoIP”.

MGCP al igual que SIP usa el Protocolo de Descripción de Sesión (SDP) para describir y negociar capacidades de información. Su funcionalidad es similar a la capacidad H.245 de H.323 [RAM2005].

2.4.2. SCCP (Skinny Client Control Protocol)

Protocolo propietario de Cisco, se basa en un modelo cliente/servidor en el cual toda la inteligencia se deja en manos del servidor (Call Manager). Los clientes son los teléfonos IP, que no necesitan mucha memoria ni procesamiento [RAM2005]. El servidor es el que aprende las capacidades de los clientes, controla el establecimiento de la llamada, envía señales de notificación, reacciona a señales del cliente (por ejemplo cuando se presiona el botón de directorio). El servidor usa SCCP para comunicarse con los clientes, y si la llamada sale por un gateway, usa H.323, MGCP o SIP.

2.5. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

El servicio de transporte se implementa mediante un protocolo de transporte entre dos entidades de transporte.

En ciertos aspectos, los protocolos de transporte se parecen a los protocolos de red. Ambos se encargan del control de errores, la secuenciación y el control del flujo.

Pero también existen diferencias importantes entre ambas, como los entornos en que operan, la capa transporte necesita el direccionamiento explícito de los destinos, mientras que la capa de red no, otra diferencia es la cantidad de datos, mucho mayor en la capa de transporte que en la de enlace de datos.

Internet tiene dos protocolos principales en la capa de transporte, uno orientado a la conexión y otro no orientado a la conexión. El protocolo no orientado a la conexión es el UDP y el orientado es el TCP.

2.5.1. UDP

El conjunto de protocolos de Internet soporta un protocolo de transporte no orientado a la conexión UDP (protocolo de datagramas de usuario). Este protocolo proporciona una forma para que las aplicaciones envíen datagramas IP encapsulados sin tener una conexión.

2.5.2. TCP

TCP (protocolo de control de transmisión) se diseñó específicamente para proporcionar un flujo de bytes confiable de extremo a extremo a través de una interred no confiable. Una interred difiere de una sola red debido a que diversas partes podrían tener diferentes topologías, anchos de banda, retardos, tamaños de paquete. TCP tiene un diseño que se adapta de manera dinámica a las propiedades de la interred y que se sobrepone a muchos tipos de situaciones. [WIK3 2010].

2.5.3. RTP (Real-time Transport Protocol)

Este protocolo define un formato de paquete para llevar audio y video a través de Internet.

Está descrito en [RFC3550]. Este protocolo no usa un puerto UDP determinado, la única regla que sigue es que las comunicaciones UDP se hacen vía un puerto impar y el siguiente puerto par sirve para el protocolo de control RTP (RTCP) [BAN2006].

La inicialización de la llamada normalmente se hace por el protocolo SIP o H.323.

El hecho de que RTP use un rango dinámico de puertos hace difícil su paso por dispositivos NAT y firewalls, por lo que se necesita usar un servidor STUN (Simple Traversal of UDP over NAT, RFC3489).

STUN es un protocolo de red que permite a los clientes que estén detrás de un NAT saber su dirección IP pública, el tipo de NAT en el que se encuentran y el puerto público asociado a un puerto particular local por el NAT correspondiente. Esta información se usa para iniciar comunicaciones UDP entre dos hosts que están detrás de dispositivos de NAT.

Las aplicaciones que usan RTP son menos sensibles a la pérdida de paquetes, pero son típicamente muy sensibles a retardos, por lo que se usa UDP para esas aplicaciones.

Por otro lado, RTP no proporciona calidad de servicio, pero este problema se resuelve usando otros mecanismos, como el marcado de paquetes o independientemente en cada nodo de la red.

2.5.4. RTCP (Real-time Transport Control Protocol)

El protocolo de control RTP se basa en la transmisión de paquetes de control fuera de banda a todos los nodos participantes en la sesión. Tiene 3 funciones principales [BAN2006]:

- Provee realimentación en la calidad de los datos.
- Utiliza nombres canónicos (CNAME) para identificar a cada usuario durante una sesión.

- Como cada participante envía sus tramas de control a los demás, cada usuario sabe el número total de participantes. Este número se usa para calcular la tasa a la cual se van a enviar los paquetes. Más usuarios en una sesión significan que una fuente individual podrá enviar paquetes a una menor tasa de bits.

2.6. CODECS

Codec viene de codificador-decodificador. Describe una implementación basada en software o hardware para la transmisión correcta de un flujo de datos. Se estudiará solamente los codecs de voz.

2.6.1. UIT G.711

G.711 tiene una tasa de transmisión alta (64 kbps). Desarrollado por la UIT, es el codec nativo de redes digitales modernas de teléfonos.

Formalmente estandarizado en 1988, este codec, también llamado PCM, tiene un tasa de muestreo de 8000 muestras por segundo, lo que permite un ancho de banda total para la voz de 4000 Hz. Cada muestra se codifica en 8 bits, luego la tasa de transmisión total es de 64 kbps [WOO1998].

Existen dos versiones de este codec: Ley-A (A-law) y Ley- μ (μ -law).

La segunda se usa en Estados Unidos y Japón mientras que la primera se usa en el resto del mundo, incluida Latinoamérica. La diferencia entre ellas es la forma como la señal es muestreada. Las ecuaciones de muestreo son las siguientes [HUA2005] y se grafican en la figura 2.4:

- **Ley-A:**

$$A = \frac{Ax}{1+\ln A} \quad \text{para } x \leq \frac{1}{A} \quad (1)$$

$$A = \frac{1+\ln Ax}{1+\ln A} \quad \text{para } \frac{1}{A} \leq x \leq 1 \quad (2)$$

- **Ley-μ:**

$$A = \frac{\ln(1+\mu x)}{\ln(1+\mu)} \quad (3)$$

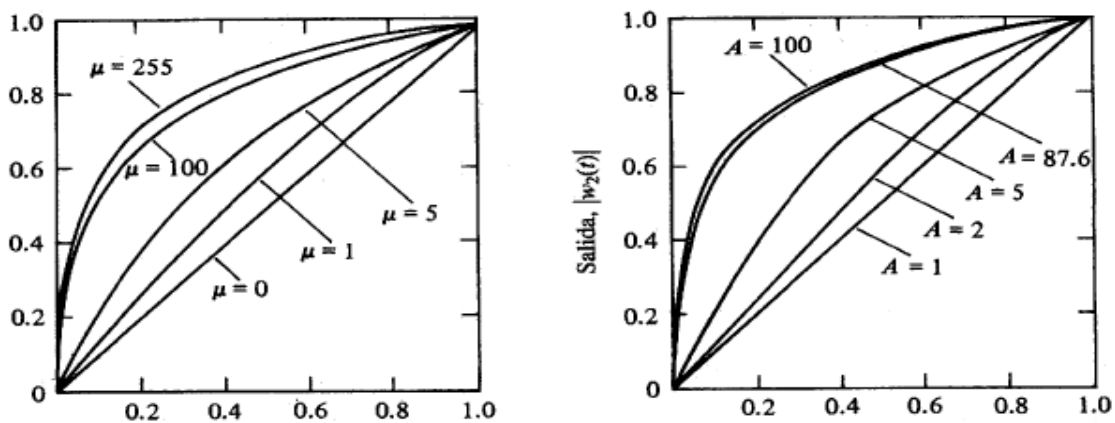


FIGURA 2.4. COMPARACIÓN LEY-μ VS. LEY-A

Fuente: [HUA2005]

Los valores de μ y de A están estandarizados por la UIT y son $\mu=255$ para el caso de la ley- μ y de $A=100$ para el caso de la ley-A. La forma logarítmica refuerza las muestras más pequeñas de la entrada con el fin de protegerlas del ruido.

El uso de G.711 para VoIP ofrece la mejor calidad (no realiza compresión en la codificación), por lo que suena igual que un teléfono analógico o RDSI. Esto se comprueba con la medida del MOS.

El MOS (Mean Opinion Score) es una medida cualitativa de la calidad de la voz. Un MOS de 5 indica una comunicación con calidad excelente mientras que un MOS de 0 indica una calidad pésima. G.711 tiene el MOS más alto de todos los codecs en condiciones ideales (sin pérdida de paquetes), con un MOS de 4.1.

También presenta el menor retardo debido a que no hay un uso extensivo del CPU (no hay compresión de datos).

El inconveniente principal es que necesita mayor tasa de bits que otros codecs, aproximadamente 80 kbps, incluyendo toda la cabecera TCP/IP. Sin embargo, con un acceso de alta velocidad, esto no debería ser mayor problema.

Este codec es soportado por la mayoría de compañías de VoIP, tales como proveedores de servicio y fabricantes de equipos.

2.6.2. UIT G.729

Este codec comprime la señal en períodos de 10 milisegundos. No puede transportar tonos como DTMF o fax.

G.729 se usa principalmente en aplicaciones VoIP por su poca tasa de bits (8 kbps). Existen extensiones de la norma que permiten tasas de 6.4 y 11.8 kbps para peor y mejor calidad de voz, respectivamente. Idealmente presenta un MOS de 3.8.

El uso de aplicaciones usando este codec requiere una licencia. Sin embargo existen implementaciones gratuitas para uso no comercial.

2.6.3. GSM (RPE-LTP)

Este codec se llama oficialmente RPE-LTP (Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction) pero se conoce mundialmente como GSM debido a que es el codec usado en el estándar GSM de comunicaciones móviles.

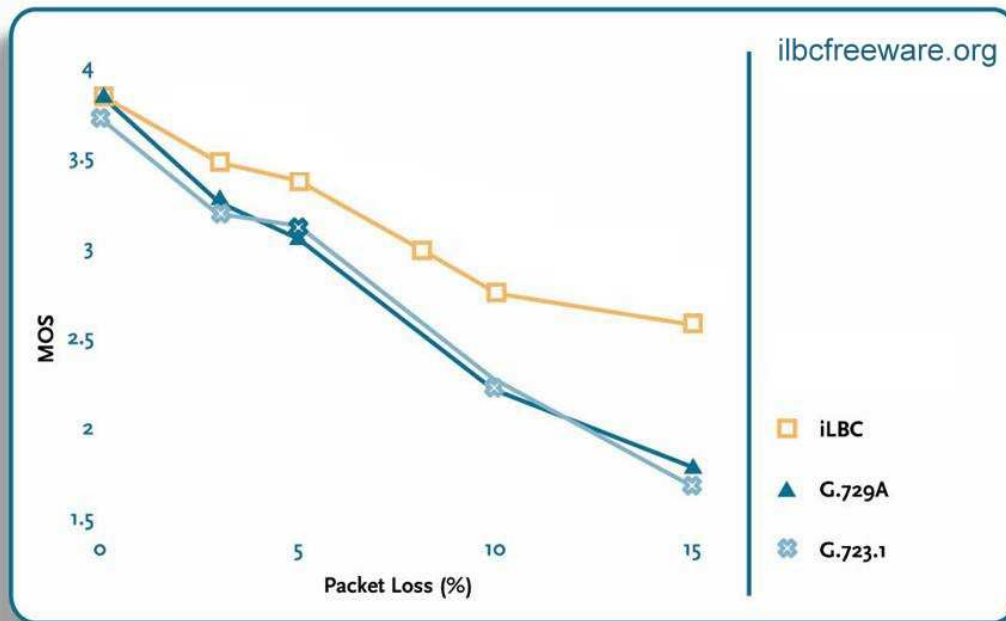
Tiene una tasa de bits de 13 kbps con un MOS ideal de 3.6 y realiza la codificación generando coeficientes representativos de un intervalo de tiempo determinado. Este intervalo normalmente es de 20 milisegundos de voz [WOO1998]. La descripción de todo el proceso de codificación en forma de diagrama de bloques se encuentra en [VAL2001].

2.6.4. iLBC

iLBC (Internet Low Bit-Rate Codec) es un codec de voz de banda estrecha libre (se puede usar sin el pago de regalías). [RFC3951] describe todo el proceso de codificación y decodificación.

La señal de voz es muestreada a 8 kHz., y el algoritmo usa una codificación predictiva lineal (LPC). Soporta dos tamaños de cuadro:

20 ms a 15.2 kbps y 30 ms a 13.33 kbps. La figura 2.5 muestra un estudio realizado por la empresa DynStat en el cual se comparan los protocolos iLBC, G.729 y G.723.1 en base a su robustez frente a la pérdida de paquetes. Para esto se midió el MOS conforme se iban perdiendo los paquetes. Al inicio de la prueba, iLBC presentó un MOS similar al G.729, y conforme se fueron perdiendo los paquetes presentó una mejor calidad.



The tests were performed by Dynstat, Inc., an independent test laboratory.
Score system range: 1 = bad, 2 = poor, 3 = fair, 4 = good, 5 = excellent

Courtesy of GLOBAL IP SOUND

FIGURA 2.5. ROBUSTEZ FRENTE A PÉRDIDA DE PAQUETES

Fuente: [ILB2010]

2.6.5. Resumen de codecs

La tabla 2.1 muestra un cuadro comparativo entre los codecs descritos anteriormente:

Nombre	Org.	Descripción	Bit Rate (Kbps)	Frecuencia de Muestreo (KHz)	Tamaño cuadrado (ms)	Obs.	MOS (ideal)
G.711	UIT	Pulse Code Modulation (PCM)	64	8	Muestreada	Ley-A Ley- μ	4.1
G.729	UIT	Conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP)	8	8	10	Bajo retardo (15ms)	3.8
GSM	ETSI	Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction (RPE-LPT)	13	8	20	Usado por GSM	3.5-3.7
iLBC		Linear Predictive Coding (LPC)	15.2 13.33	8	20 30		4.1

TABLA 2.1 CUADRO COMPARATIVO DE CODECS

2.7 SISTEMAS DE TELEFONÍA IP

Como resultado del proceso conocido como “Convergencia Tecnológica”, se ha impulsado el surgimiento de soluciones novedosas en el mundo de las telecomunicaciones, tal es el caso de la telefonía IP.

Es por eso que diversos fabricantes de telefonía analógica o digital en el mercado se han enfocado a este tipo de tecnología haciendo de esto dos grupos de programas desarrollados netamente para telefonía IP, estos pueden ser software propietarios o software libre.

Para nuestra implementación vamos a basarnos en un sistema de software libre con lo cual vamos a mencionar el sistema en el que se basa la telefonía IP, denominado Asterisk.

2.7.1. Asterisk

Este sistema está basado en una plataforma Linux y su función específica es proporcionar funcionalidades de una central telefónica (IP-PBX).

2.7.2. Estructura

Asterisk, como muchos otros desarrollos Open Source, está basado en estándares y ofrece interoperabilidad con otras soluciones tanto propietarias como abiertas. Este sistema, soporta los protocolos de señalización VoIP más populares y diversos codecs.

2.7.3. Codecs que soporta

- G.711 (A-Law & μ -Law)
- G.722
- G.723.1
- G.726
- G.729
- GSM
- iLBC
- Speex

2.7.4. Protocolos con los que trabaja

- SIP (Session Initiation Protocol)
- IAX™ (Inter-Asterisk Exchange)
- IAX2™ (Inter-Asterisk Exchange V2)
- MGCP (Media Gateway Control Protocol)
- H.323
- SCCP (Cisco® Skinny®)

2.7.5. Módulos del sistema

La versión estable de Asterisk está compuesta por los módulos siguientes:

- Asterisk: Ficheros base del proyecto.
- DAHDI: Soporte para hardware. Drivers de tarjetas. (Anteriormente ZAPTEL)
- Addons: Complementos y añadidos del paquete Asterisk. Opcional.
- Libpri: Soporte para conexiones digitales. Opcional.
- Sounds: Aporta sonidos y frases en diferentes idiomas. (Incluidos en el paquete Asterisk)
- GUI para la administración: Interfaz gráfica amigable Web que permite la administración de la central telefónica de forma sencilla para el usuario.
- Base de datos MySQL.
- Servidor Web Apache.
- Variedad de herramientas de desarrollo y otros componentes.

2.7.6. Versiones

Cada módulo cuenta con una versión estable y una versión de desarrollo. La forma de identificar las versiones se realiza mediante la utilización de tres números separados por un punto.

Teniendo desde el inicio como primer número el uno, el segundo número indica la versión, mientras que el tercero muestra la revisión liberada. En las revisiones se llevan a cabo correcciones, pero no se incluyen nuevas funcionalidades.

Versión 1.6

- Asterisk Versión 1.6.0.9
- Asterisk Versión 1.6.1.12
- Asterisk Versión 1.6.2.0

Versión 1.4 Estable

- Asterisk Version 1.4.23.1
- DAHDI Linux Version 2.1.0.4
- DAHDI Tools Version 2.1.0.2
- Libpri Version 1.4.7
- Addons Version 1.4.7

La versión actual en la que se trabajan los proyectos de telefonía IP son las del 1.4.

2.7.7. Características del sistema

- Instalación sencilla y rápida.
- No requiere conocimientos avanzados de Linux, por lo que puede ser utilizado por usuarios de Mac o Windows.
- Interfaz de configuración web que facilita las tareas de gestión.
- Aplicaciones orientadas a datos con soporte integrado para ODBC y HTTPS.
- Asistente de configuración de conexiones VoIP que facilita las conexiones.

- Instalación de aplicaciones pre construido y empaquetado utilizando el gestor de aplicaciones.
- Detección y configuración automática de dispositivos de hardware digitales y analógicos Openvox y Digium.
- Gestor de sonidos que facilita la creación, instalación y gestión de pedidos y grabaciones del sistema.
- Editor de dial plan y AEL script con resaltador de sintaxis y validación que contribuye a simplificar el desarrollo.
- Visor de bitácora y registro de detalle de llamadas (CDR), que permite conocer de inmediato la actividad del sistema.
- Textos de ayuda integrados para aplicaciones, funciones, comandos CLI, AGI y AMI.
- Consola de monitoreo y depuración en tiempo real que permite simplificar el proceso de desarrollo.
- Tutoriales de desarrollo de aplicaciones paso a paso que permiten aprender lo fundamental de manera ágil.
- Actualizaciones automáticas que mantienen al sistema al día y seguro.

Si bien es cierto que Asterisk es el “alma” de los sistemas de telefonía IP Open Source, existen empresas que le ponen su toque personalizado agregando nuevas características mejoradas: codecs, módulos, aplicaciones, etc, tales como Trixbox y Elastix entre las más conocidas en Ecuador.

Siendo Elastix y Trixbox CE los sistemas de telefonía IP que serán utilizados en nuestra implementación.

2.8. HARDWARE USADO EN LOS CLIENTES

El hardware mencionado en este punto se refiere a los dispositivos usados por el usuario para comunicarse a través de la red de telefonía IP. Son básicamente dos tipos: adaptadores analógicos y teléfonos IP propiamente dichos.

2.8.1. Adaptadores analógicos:

Son dispositivos con una interfaz para conectar un teléfono analógico (slot para conector RJ-11) y otra interfaz para conectar a la red (slot para conector RJ-45). Básicamente su función es la de proveer señalización FXO a los teléfonos, es decir, se comporta como un dispositivo FXS. Se explicará brevemente estos dos términos [WAL2005]:

FXO: Foreign eXchange Office, es la interfaz que se conecta a la red de Telefonía Básica (RTB, PSTN) o a una PBX y normalmente está presente en todos los teléfonos analógicos. Recibe la señalización dada por la FXS.

FXS: Foreign eXchange Subscriber, es la interfaz que se conecta directamente a un teléfono analógico y le brinda tono de timbrado y voltaje, entre otras cosas. En un escenario convencional (telefonía analógica), el FXS está en la central de conmutación, brindando señalización al dispositivo FXO (teléfono analógico).

Se tienen dos posibilidades para usar teléfonos analógicos en una red VoIP: Una es que el servidor de VoIP tenga una tarjeta con módulos FXS y la otra es tener en la red ciertos gateways que conviertan la señal analógica en datos IP. De esta forma, la IP PBX se comunica con los teléfonos analógicos a través de los gateways usando los protocolos de señalización mencionados anteriormente. Un ejemplo de estos gateways son los ATAs (Analog Telephone Adapter).

2.8.2. Teléfonos IP

Son dispositivos que soportan uno o varios protocolos de señalización. Entre las marcas más conocidas se tiene a Cisco, Polycom, Snom, Aastra, Grandstream, etc. La gran mayoría soporta como mínimo los codecs G.711, G.723, pudiendo soportar otros más.

Adicionalmente pueden tener otras funcionalidades tales como supresión de silencios o conexión redundante a dos servidores. Para las diversas pruebas en el presente proyecto de titulación se usará teléfonos IP Grandstream. Estos teléfonos soportan IAX2, SIP, H.323 como protocolos de señalización y G.711, G.723, G.729, iLBC, GSM como protocolos de codificación (codecs). La hoja de datos de este teléfono así como sus manuales de usuario se encuentran en los anexos 1, 2 y 3; respectivamente.

En la figura 2.6 se muestra como conviven los diferentes tipos de teléfonos en una red VoIP.

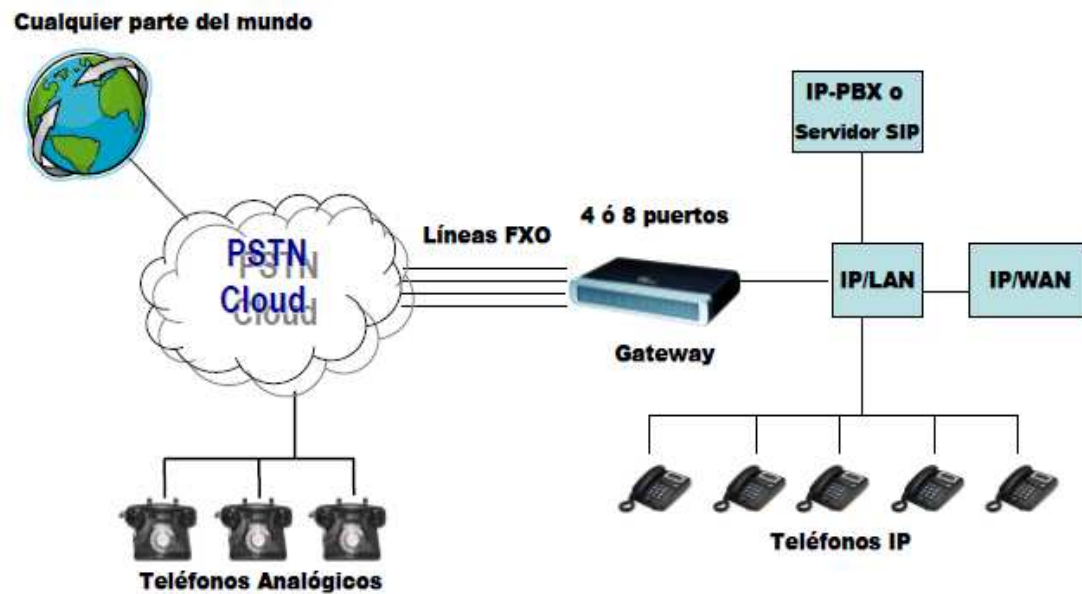


FIGURA 2.6. CONVIVENCIA DE TELÉFONOS IP Y ANALÓGICOS

Fuente: [GNS 2010]

2.8.3. Tipos de teléfonos IP

Por características técnicas, versatilidad, estabilidad, calidad de comunicación, compatibilidad de funcionamiento y precios la empresa decidió adoptar la marca Grandstream con la cual se realizó la implementación.

Los tipos de teléfonos varían de acuerdo a la necesidad. Existen teléfonos sencillos, semiejecutivos, ejecutivos, y de video conferencia.

Las características varían de acuerdo a los modelos existentes en el mercado pero hoy en día se centra como característica fundamental que tenga full-dúplex y soporte los principales codecs y protocolos.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS PREVIO

3.1. AMBIENTE DE PRUEBAS

Este capítulo tiene por finalidad hacer una comparación de las diversas tecnologías mencionadas anteriormente. Para ello se cuenta con un servidor de pruebas con Asterisk ya instalado (el proceso de instalación de los servidores está detallado en el capítulo 4). El servidor tiene las siguientes características:

- Mainboard DG41-TY
- Procesador Intel Core 2 Duo 2.83 GHz
- 2 Gb de RAM
- Sistema Operativo: Elastix

Se comparará primero los protocolos de señalización para luego estudiar los diversos codecs y por último el hardware.

3.2. PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN

Para el caso de los protocolos de señalización, se estudiarán básicamente dos protocolos: SIP e IAX2. No se tomará en cuenta a H.323 por ser un protocolo que no se usa mucho, y además requiere licencia para su uso. Para cada protocolo estudiado se verá como es el proceso de registro y establecimiento de una llamada. Para todo ello se hará uso de teléfonos IP Grandstream, los cuales, como se dijo en

el capítulo anterior, tienen la particularidad de que su *firmware* es intercambiable para soportar los diversos protocolos.

Es decir, existe un *firmware* para SIP y otro para IAX2, los cuales se pueden cambiar de manera gráfica vía web. Para capturar los paquetes se utiliza el software Ethereal que se ejecuta en el servidor. Se evaluará cada protocolo según su comportamiento en las distintas etapas de la señalización.

3.2.1. Registro

3.2.1.1. SIP

Cada dispositivo se autentica en el servidor usando para eso el mensaje REGISTER, como lo muestra la figura 3.1:

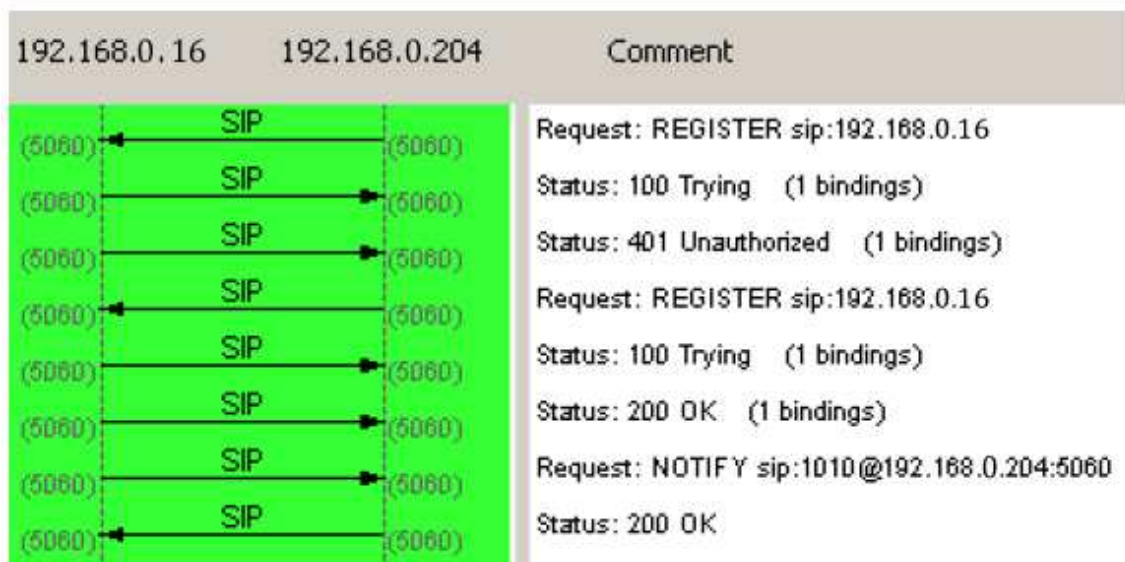


FIGURA 3.1. SIP: FLUJO DE PAQUETES REGISTRO USUARIO

La dirección IP del servidor Elastix es 192.168.0.16 y la del teléfono IP es 192.168.0.204. El flujo de registro es el siguiente: Primero el usuario que quiere registrarse, en este caso el teléfono IP, envía un mensaje REGISTER solo con el usuario y el IP a donde se redireccionarán las llamadas a esa extensión, más no contiene la contraseña. Debido a esto, el servidor rechaza la petición con el mensaje 401 UNAUTHORIZED, pidiéndole al usuario su contraseña y dándole un método de cifrado. Una vez conocido esto, el usuario vuelve a enviar un REGISTER pero esta vez ya con la contraseña cifrada, con lo que el servidor registra al usuario. Por último, el servidor envía una trama NOTIFY, para asegurarse que todo esté en perfecto funcionamiento.

Todo el proceso descrito en el párrafo anterior está bien documentado en [RFC 3665], sin embargo, en este documento no se menciona la última parte, siendo ésta opcional en las implementaciones del estándar.

En total fueron intercambiados 8 paquetes dando un total de 2829 bytes. La traza de los paquetes en formato PCAP se encuentra en el anexo 4.

3.2.1.2. IAX2

Se obtuvo el flujo de paquetes ilustrado en la figura 3.2:

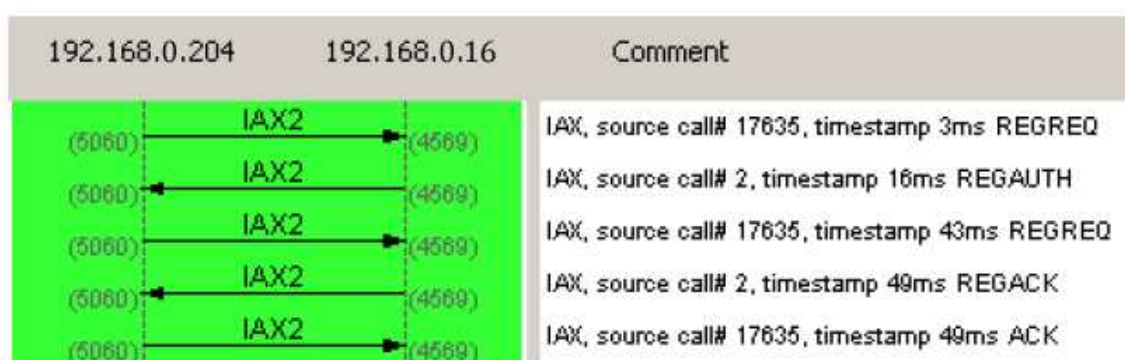


FIGURA 3.2. IAX2: FLUJO DE PAQUETES REGISTRO USUARIO

Primero el teléfono manda un mensaje REGREQ al servidor Elastix al puerto 4569 (puerto por defecto del servicio de IAX2). Este primer mensaje al igual que el primer mensaje REGISTER de SIP solo contiene el usuario que se quiere registrar, pidiendo el método de cifrado. La central le responde con el REGAUTH indicando al usuario el método adecuado de cifrado. Luego, el usuario vuelve a mandar el mensaje REGREQ, esta vez con la contraseña ya cifrada. Por último el servidor confirma su registro y el usuario responde a esta confirmación.

En total se intercambiaron 5 paquetes dando un total de 404 bytes, 7 veces menos que lo que se obtuvo con SIP.

3.2.2. Establecimiento de llamada

3.2.2.1. SIP

Para comprobar el comportamiento en una llamada cualquiera se usa un segundo equipo, que tendrá el softphone X- lite² para conectarse al servidor Elastix.

Este equipo tiene la IP 192.168.0.50. El flujo de establecimiento de llamada se ilustra en la figura 3.3:

² Se puede descargar gratuitamente de <http://www.xten.com/index.php?menu=download>



FIGURA 3.3. SIP: FLUJO DE PAQUETES ESTABLECIMIENTO LLAMADA

En este caso pasa algo similar al registro, pues primero se manda el mensaje INVITE al número SIP 1010@192.168.0.16. Como esa extensión pertenece a una dirección IP externa, la central le pide al llamante que se registre primero como cliente, siguiendo el mismo procedimiento que el registro. Cuando vuelve a enviar el INVITE ya con las credenciales, el servidor lo redirecciona a su destino final: el teléfono IP. Durante todo este proceso se intercambian los codecs soportados y se elige uno para ser usado en la transmisión de voz, en este caso G.711.

En total, en todo el proceso de registro se intercambiaron 14 paquetes dando un total de 7378 bytes, sin contar los paquetes RTP de la comunicación de voz propiamente dicha.

3.2.2.2. IAX2

Se capturan los paquetes intercambiados en el establecimiento de una llamada. A diferencia de SIP, se usa el softphone Idefisk³, que soporta el protocolo IAX2 y está instalado en el mismo equipo del caso anterior (dirección IP 192.168.0.50). El flujo de establecimiento de llamada usando IAX2 se ilustra en la figura 3.4:

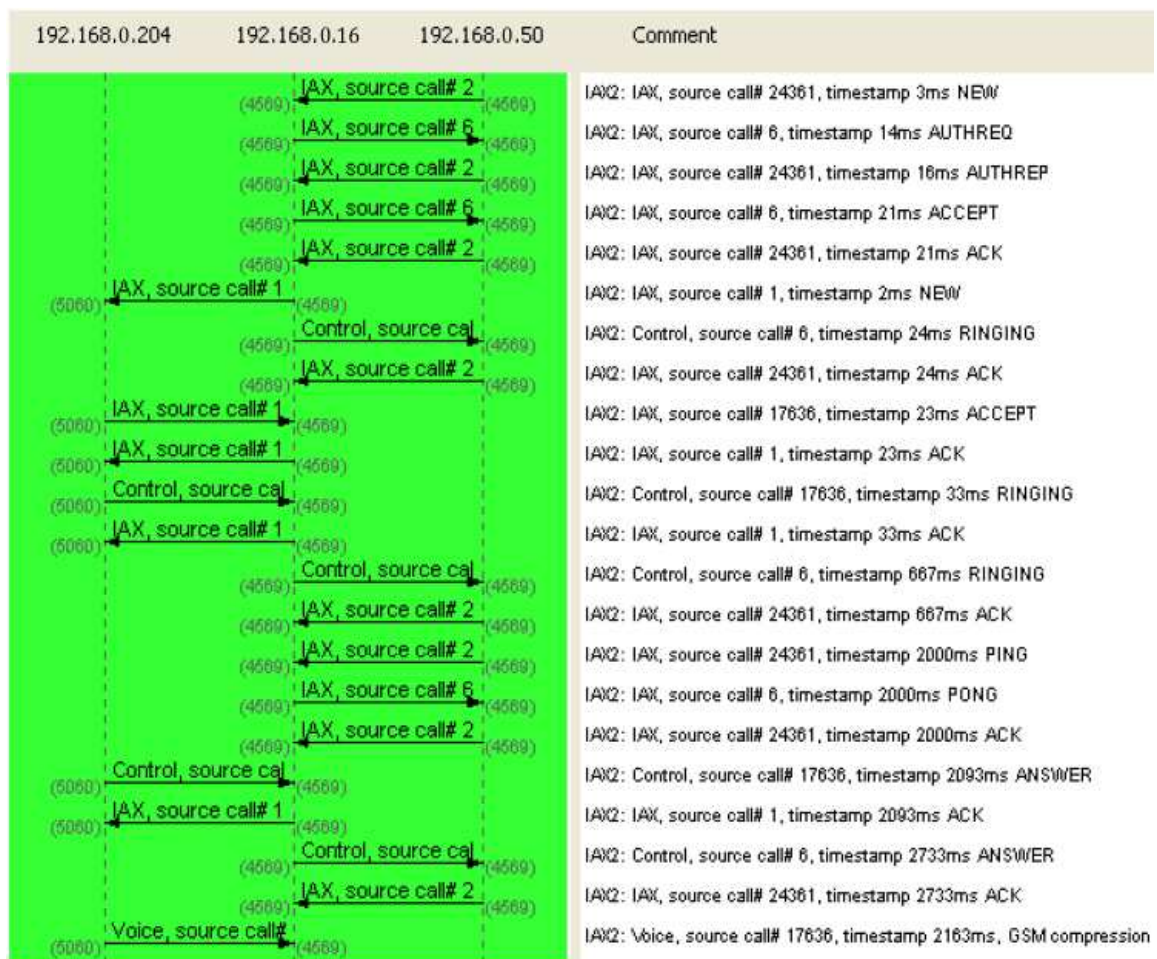


FIGURA 3.4. IAX2: FLUJO DE PAQUETES ESTABLECIMIENTO LLAMADA

³ Se puede descargar gratuitamente de <http://www.asteriskguru.com/idefisk/free/>

Se aprecia que primero el softphone manda el mensaje de llamada nueva a la central con el número de extensión del teléfono IP como destino (las tramas completas se encuentran en el anexo 4). Luego, al igual que para el registro, la central desafía al softphone pidiéndole su contraseña cifrada, dándole para esto la llave de cifrado a usarse. El softphone manda su clave cifrada y la central acepta la llamada.

Luego la central, que está actuando como Proxy, redirecciona la llamada al teléfono IP, y le manda tanto al llamante como al llamado el mensaje RINGING, al cual responden con el mensaje ACK.

Por último el teléfono IP contesta la llamada y manda el mensaje ANSWER a la central, la que a su vez la reenvía al softphone, originándose así la llamada. En total se intercambiaron 21 paquetes dando un total de 1366 bytes, 5 veces menos que SIP.

3.2.3. Tasa de bits

Uno de los objetivos de esta prueba es determinar la tasa de bits consumida por cada protocolo, usando para ello dos llamadas concurrentes. De esta forma se verá qué protocolo tiene una menor tasa de bits. Para el primer caso las llamadas serán SIP y para el segundo IAX2. El codec a usar para esta parte es G.711 (ley- μ), para de esta forma ser más imparcial, ya que si se usaran codecs distintos en SIP e IAX2, la tasa de bits se vería influenciada mucho más por el codec usado que por el protocolo en sí.

Para poder medir la tasa de bits consumida por unidad de tiempo se hace uso de SNMP (Simple Network Management Protocol). SNMP es un protocolo que forma parte de la suite TCP/IP que permite a los administradores de red monitorear el desempeño de la misma. Esta herramienta se utilizará para monitorear la tasa de bits

consumida en el servidor durante las llamadas. Para instalarlo simplemente se siguen los pasos de la tabla 3.1:

```
voip:~# apt-get install snmpd
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias... Hecho
Se instalarán los siguientes paquetes NUEVOS:
  snmpd
0 actualizados, 1 se instalarán, 0 para eliminar y 0 no actualizados.
Se necesita descargar 0B/731kB de archivos.
Se utilizarán 856kB de espacio de disco adicional después de desempaquetar.
Seleccionando el paquete snmpd previamente no seleccionado.
(Leyendo la base de datos ...
72257 ficheros y directorios instalados actualmente.)
Desempaquetando snmpd (de .../snmpd_5.1.2-6.2_i386.deb) ...
Configurando snmpd (5.1.2-6.2) ...
Starting network management services: snmpd.
```

TABLA 3.1. INSTALACIÓN SNMP EN DEBIAN

Luego se edita el archivo `/etc/snmp/snmpd.conf` y se añade la siguiente línea:

```
com2sec readonly default public
```

De esta forma se da permiso a que otras máquinas de la red puedan enviar comandos SNMP.

Para poder visualizar los gráficos obtenidos se usa el programa PRTG⁴, que preguntará cada cierto tiempo al servidor su tasa de bits (mediante SNMP) y lo graficará en un eje de tiempo.

3.2.3.1. SIP

En este caso se usa la red Gizmo, la cual es una red mundial que usa el protocolo SIP como protocolo de señalización para sus usuarios. Se configura esta red como una troncal en nuestra central, con el usuario y password dados por Gizmo.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.5

⁴ Página web: <http://www.paessler.com/prtg/>

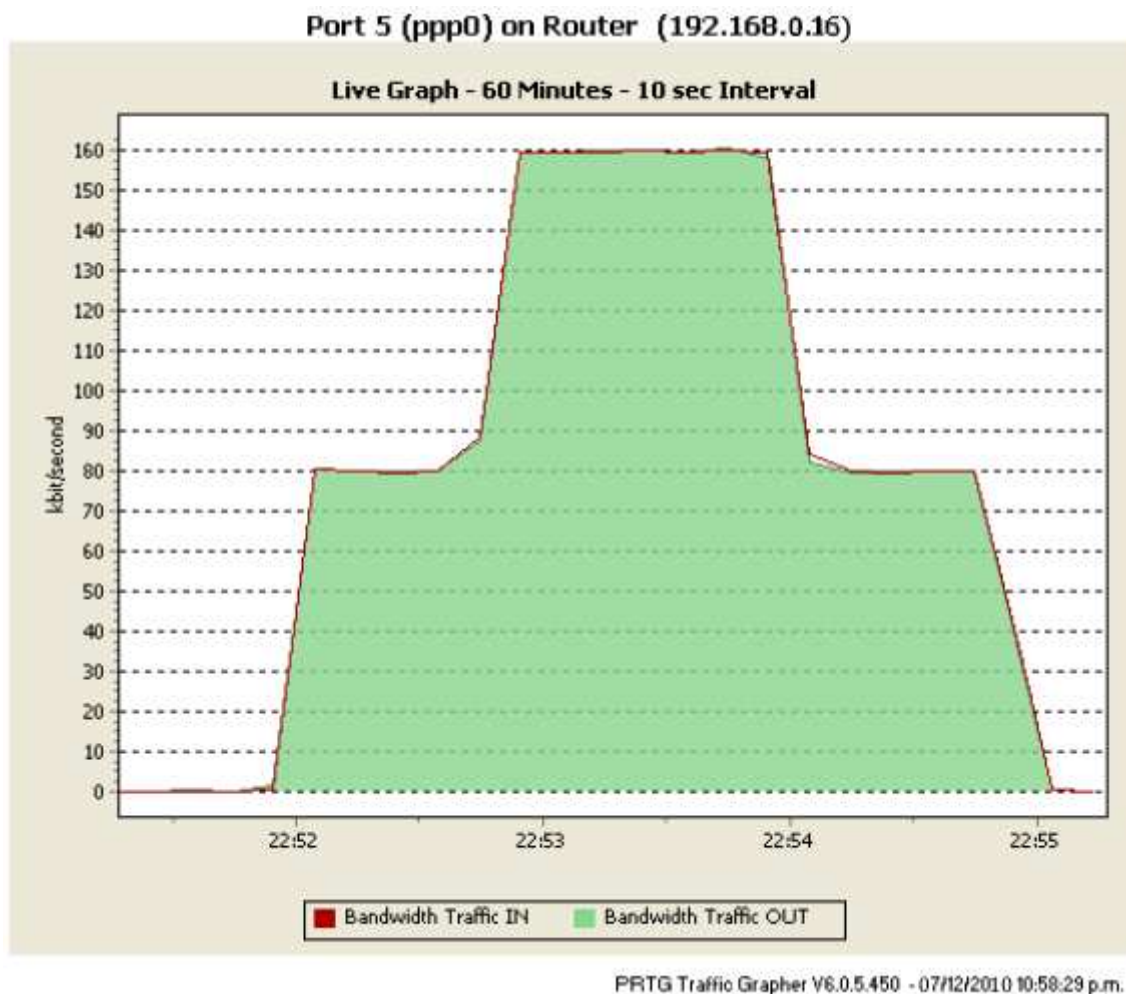


FIGURA 3.5. SIP: TASA DE BITS VS TIEMPO

Se obtuvo alrededor de 80 kbps para una llamada y aproximadamente 160 kbps para 2 llamadas. Cabe destacar que se está usando el codec G.711 que ocupa 64 kbps. La diferencia es la cabecera propia del protocolo SIP.

3.2.3.2. IAX2

En este caso se usa la red FWD para saber cuál es la tasa de bits consumida. FWD (Free World Dialup), al igual que Gizmo, es una red mundial de VoIP, y se configura como una troncal IAX2. Se obtiene el gráfico mostrado en la figura 3.6:

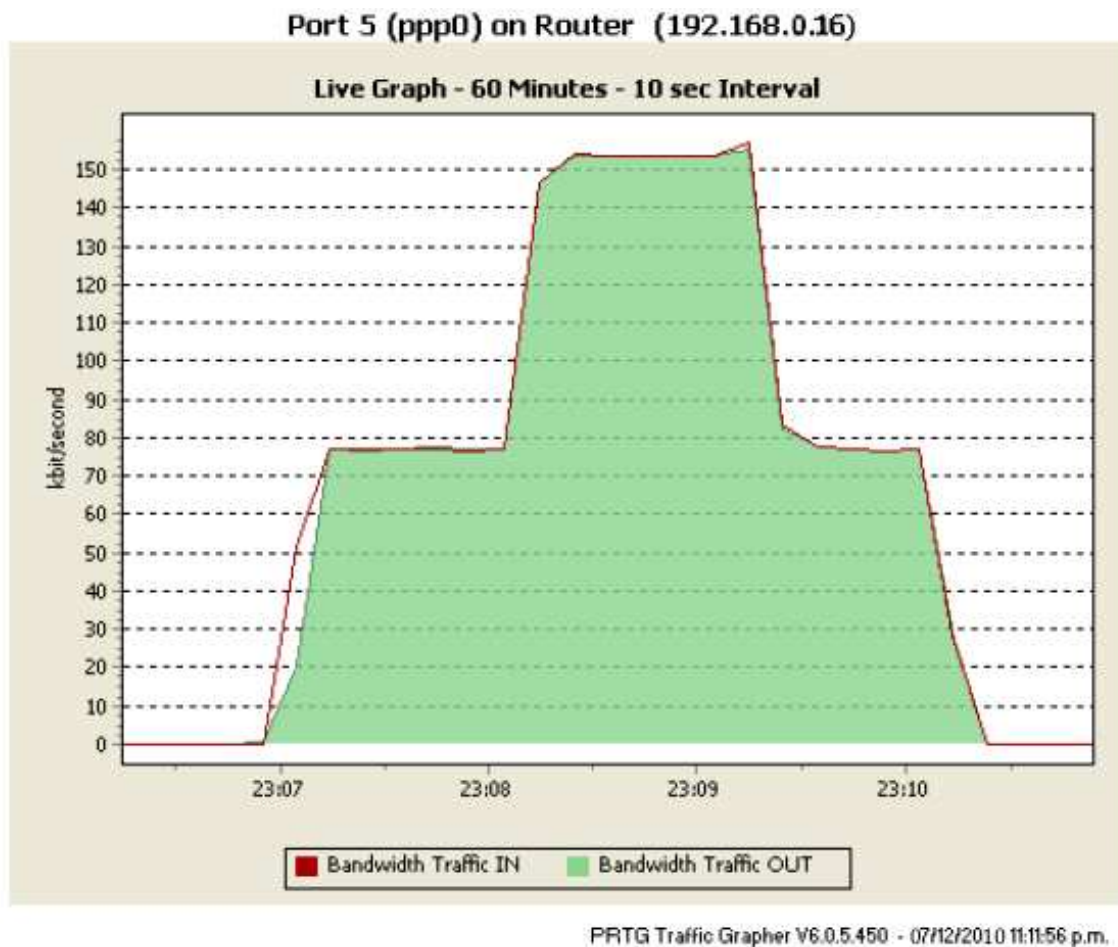


FIGURA 3.6. IAX2: TASA DE BITS VS TIEMPO

La primera llamada consume alrededor de 77 kbps (simétrico, 77 de entrada y 77 de salida), mientras que cuando la segunda llamada se inicia, el tráfico consumido asciende hasta un promedio de 152 kbps.

3.2.4. Conclusiones

Se compararon los dos protocolos principales usados en Asterisk: SIP e IAX2.

En todos los aspectos comparados, IAX2 demostró ser más eficiente al transmitir la menor cantidad de paquetes y al tener el menor *overhead*. Sin embargo estas diferencias son muy pequeñas como para inclinarse definitivamente por IAX2, ya que SIP tiene a su favor que es el protocolo más extendido y soportado por las empresas de VoIP.

3.3. CODECS

Para el caso de los codificadores, se usará como base el protocolo IAX2, y sobre ese se cambiarán los distintos codecs que existen. Solo se compararán los codecs G.711 e iLBC. Se eligen estos dos codecs debido a que ofrecen el mejor MOS⁵ y en cuestión de consumo de CPU son totalmente opuestos (G.711 no comprime e iLBC es el que usa más CPU para comprimir).

El resultado obtenido se muestra en la figura 3.7:

⁵ **MOS (Mean Opinion Score)**.-En multimedia (audio, telefonía de voz o de vídeo), especialmente utilizada, (MOS) proporciona un indicación numérica de la calidad percibida de los medios de comunicación recibieron después de la compresión y / o transmisión. El MOS se expresa como un número único en el rango de 1 a 5, donde 1 es la más baja percepción de calidad de audio, y 5 es la más alta percepción de medición de la calidad de audio .

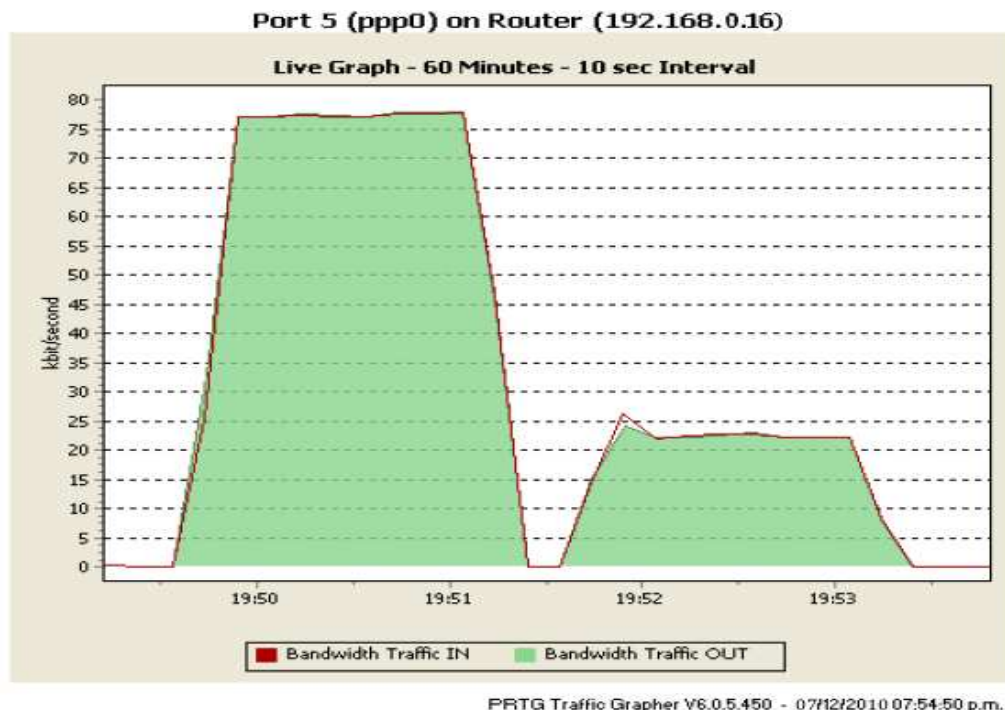


FIGURA 3.7. LLAMADAS G.711 E ILBC

3.3.1. G.711

La figura 3.7 muestra que una llamada en G.711 consume alrededor de 77 kbps. Esta codificación transmite la voz sin generar retardo alguno.

Es decir, muestrea la señal de voz y va transmite. Se descubre que hay un overhead (sobrecarga) dado por el protocolo, pues según la teoría G.711 solo usa 64 kbps.

3.3.2. iLBC

Se obtuvo un resultado de 23 kbps, mucho menor que G.711. Esto debido a que iLBC usa compresión para la codificación de la voz. Sin embargo, se comprueba experimentalmente que la codificación iLBC genera cierto retardo ya que se espera que lleguen un grupo de muestras para poder codificar la voz y transmitirla (usualmente 20 ms). Al igual que G.711, existe overhead (sobrecarga) brindado por el protocolo, por lo que no sale el valor teórico, el cual es 15 kbps.

3.4. HARDWARE

Se pueden usar dos clases de dispositivos: teléfonos analógicos y teléfonos IP, cada uno con ventajas y desventajas particulares, que se detallan a continuación:

3.4.1. Teléfonos analógicos

Para poder usar teléfonos analógicos se debe tener hardware especial instalado en el servidor. Se trata de módulos FXS que brindan señalización y energía a los teléfonos, tal como lo hace una central pública a un usuario convencional. Estos módulos FXS pueden estar directamente conectados a la central de conmutación (PBX) o a la red LAN, en cuyo caso el dispositivo se denomina ATA (Analog Telephone Adapter). La principal diferencia entre un ATA y simplemente un módulo FXS es que el ATA aparte del módulo FXS tiene un puerto Ethernet, por lo que transforma al teléfono analógico en un teléfono IP. En cambio, el FXS simplemente hace una conmutación analógica interna para las comunicaciones. Como el ATA es casi lo mismo que un teléfono IP, no se tomará en cuenta para la comparación. Un ejemplo de ATA es el HT 502, mostrado en la figura 3.8.



FIGURA 3.8. ATA HT 502

Fuente: [GRDS2010]

La reutilización de teléfonos analógicos tiene la principal ventaja que no hay latencia en la transmisión de la voz, al no pasar por un codificador, sino de frente se conmuta en la central. Las principales desventajas son su costo (alrededor de US\$400 por tarjetas PCI con 4 puertos, \$350 equipos gateway de 4 puertos) y el requerimiento de hardware adicional cuando se acaben los slots de las tarjetas. Sin embargo, existen pequeños equipos como el ATA de la figura que su costo es relativamente menor (\$100 aproximadamente) y su funcionalidad abastece para integrar 2 teléfonos analógicos o FAX a la red IP. Como un inconveniente principal es que se necesita cablear desde la central IP a cada teléfono analógico (es decir no se reusa la red de datos).

3.4.2. Teléfonos IP

Existen dos tipos principales de teléfonos IP: los *hardphones* (IP básicos, semiejecutivos, ejecutivos, Wi-Fi, inalámbricos, video conferencia) y también los *softphones*. En cuanto a características son idénticos entre sí, variando entre uno y otro por modelos, tipos de pantalla y funcionalidades por lo que no se hará mayor distinción entre uno u otro. La única diferencia que tienen es que mientras el *hardphone* es un dispositivo físico (teléfono tangible), el *softphone* funciona de la misma forma que cualquier programa en la computadora. Un ejemplo de hardphone es el teléfono Grandstream IP GXP-2000 que se muestra en la figura 3.9.



FIGURA 3.9. GXP 2000

Fuente: [GRDS2010]

La principal ventaja de un teléfono IP es la movilidad, es decir, se puede mover el equipo en cualquier punto de la red y se mantiene su mismo número de extensión, esto no es posible con los teléfonos analógicos, donde cada ranura identifica a un número. Esto conlleva un reúso de la infraestructura de datos para pasar voz, abaratando costos a largo plazo.

Sin embargo también existen desventajas. La principal es el retardo producido por el proceso de codificación – transporte – decodificación en la comunicación entre la red pública y cualquier extensión IP, el cual produce eco en los teléfonos al escucharse los usuarios a sí mismos luego de cierto período de tiempo. Esto se soluciona eficazmente con canceladores de eco.

3.4.3. Conclusiones

Vistas las principales diferencias se recomienda comenzar a trabajar con teléfonos IP, debido a que en su versión de software (*softphone*) son gratuitos y no requiere cableado especial para ellos (se usa el cableado de la red de datos). Entre los *softphones* y los *hardphones* no hay ninguna diferencia en capacidades y funcionalidades, por lo que es indiferente el uso de uno u otro.

En lo concerniente al precio, un *hardphone* cuesta alrededor de US\$110. Si bien el precio es relativamente alto, se tiene la ventaja de la comodidad y de no tener que depender de una PC para poder realizar llamadas. Si solo se quiere la funcionalidad, lo ideal es trabajar con *softphones* gratuitos.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVIDORES

4.1. ARQUITECTURA

La plataforma sobre la cual funciona la red de voz sobre IP está conformada por dos servidores y sus clientes están ubicados en la red local de la empresa; y cualquier persona con conexión a esta red puede ser también usuario del sistema de VoIP. Como se mencionó anteriormente, se tendrán dos servidores gemelos. El diagrama de red propuesto se muestra en la figura 4.1:

4.2. ALTA DISPONIBILIDAD

Alta disponibilidad es garantizar la operatividad del servicio evitando que exista un punto único de falla. Se plantea la redundancia del hardware, de tal manera que la configuración del servicio de VoIP (Asterisk) sea idéntica y transparente al usuario final y este no note que servidor le está brindando el servicio.

Para lograr este objetivo se creará otra central gemela con Asterisk, la cual en caso de falla en el sistema inmediatamente se conectará a la red de datos sin tener que realizar ningún tipo de configuración extra y a su vez teniendo las mismas funcionalidades que la central primaria. De esta manera tenemos como contingencia esta segunda central.

4.3. SISTEMA OPERATIVO

Se eligió el sistema Operativo Centos 5 (Linux) debido a su capacidad en el reconocimiento del hardware a ser usado, como por ejemplo los discos SATA.

También porque trabaja excelentemente tanto con la consola de Elastix como de Trixbox⁶.

4.4. HARDWARE

4.4.1. Servidor principal

El servidor principal es un computador para montaje en rack cuyo procesador tiene las características técnicas mostradas en la figura 4.1:

⁶ Página web: <http://www.trixbox.com>

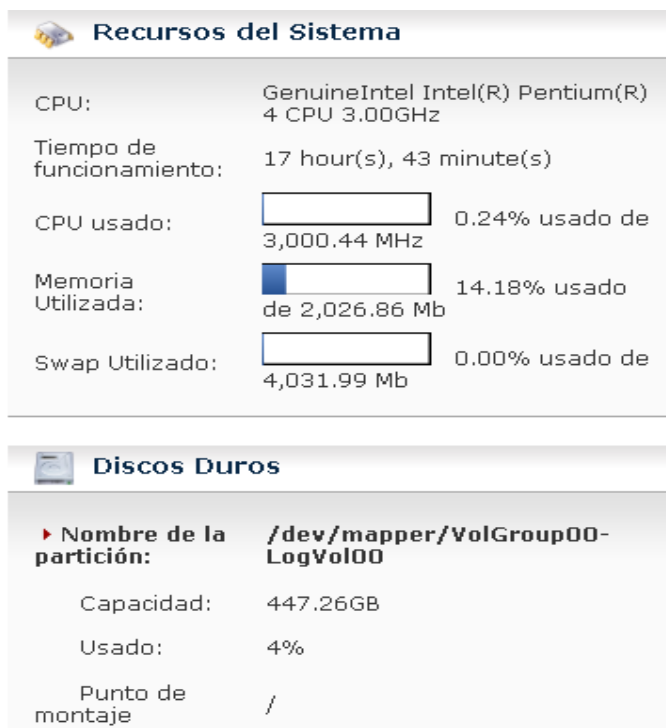


FIGURA 4.1. CARACTERÍSTICAS DEL SERVIDOR PRINCIPAL

Estas características se obtienen ingresando vía web browser mediante la IP del server a la consola de administrador en la pestaña de sistema.

Este servidor tiene una tarjeta de red, la cual está conectada a la red local de la empresa, podemos observar sus direcciones IP asignadas mediante el comando ifconfig en la figura 4.2:

Dirección fija: 192.168.0.16

Mascara: 255.255.255.0

Gateway: 192.168.0.2

```

root@elastix:~
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for details.
This is free software, with components licensed under the GNU General Public License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it under certain conditions. Type 'core show license' for details.
=====
== Parsing '/etc/asterisk/asterisk.conf': Found
== Parsing '/etc/asterisk/extconfig.conf': Found
Connected to Asterisk 1.4.26.1 currently running on elastix (pid = 2578)
Verbosity is at least 5
elastix*CLI>
Disconnected from Asterisk server
Executing last minute cleanups
[root@elastix ~]# ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:16:36:4F:F3:74
          inet addr:192.168.0.16  Bcast:192.168.0.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::216:36ff:fe4f:f374/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:13516066 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:12687107 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:2564412077 (2.3 GiB)  TX bytes:2385540385 (2.2 GiB)
          Interrupt:169 Memory:ff8f0000-ff900000

```

FIGURA 4.2. CONFIGURACIÓN DE RED DEL SERVIDOR PRIMARIO

4.4.2. Servidor secundario

El servidor secundario es un servidor clon que tiene las características técnicas mostradas en la figura 4.3:



FIGURA 4.3. CARACTERÍSTICAS DEL SERVIDOR SECUNDARIO

Estas características se obtienen ingresando vía web browser mediante la IP del server a la consola de administrador en la pestaña de sistema.

Este servidor tiene una tarjeta de red, la cual está conectada a la red local de la empresa, mediante web browser lo podemos comprobar en el Trixbox en la opción sistemas con las configuraciones mostradas en la figura 4.4:

Dirección fija: 192.168.0.16

Mascara: 255.255.255.0

Gateway: 192.168.0.2



FIGURA 4.4. CONFIGURACIÓN DE RED DEL SERVIDOR SECUNDARIO

4.5. SOFTWARE

El software a utilizar para la realización del presente proyecto de titulación es el siguiente:

- Asterisk:

Sistema de Telefonía IP

- Elastix:

Plataforma como interfaz de usuario y administrador para configuración mediante entorno gráfico.

4.5.1. Instalación

4.5.1.1. Elastix y Trixbox figura 4.5.



FIGURA 4.5. VENTANA DE INSTALACIÓN DE ELASTIX

Instalar tanto el sistema de Elastix como Trixbox es muy sencillo ya que cualquiera de los dos se los puede descargar de la web o a su vez correrlo desde un Cd.

La instalación de estas consolas no necesita ningún nivel avanzado para hacerlo ya que solo nos pide:

- Idioma del teclado
- Uso horario
- IP Fija o estática
- Clave de acceso al sistema

Una vez realizado esto el sistema se encarga de instalar automáticamente el Asterisk, la consola (Trixbox o Elastix) y todas las librerías necesarias de telefonía IP.

Ya completada la instalación, la consola nos pide ingresar el user root y la clave que pusimos previamente para la instalación con lo cual estamos listos para vía web browser comenzar a configurar nuestra central.

4.5.2. Configuración

La configuración es idéntica en ambos servidores por lo que solo se detallará lo hecho en el servidor principal (dirección IP 192.168.0.16).

A continuación se mostrará lo que se ha realizado desde el portal para esta configuración:

Extensiones

Permite configurar las extensiones dependiendo de la necesidad del protocolo que vamos a utilizar: SIP, IAX2, CUSTOM, ETC.

En nuestro caso tenemos configuradas todas las extensiones como SIP y solamente dos IAX (un fax virtual y la otra softphone Gerencia de Lima); ver figura 4.6:



FIGURA 4.6. CONFIGURACIÓN DE EXTENSIONES

Troncales

Esta opción permite crear troncales, ya sea SIP, IAX2 o ZAP (analógicas). Útil para conectarse a otras redes de VoIP o incluso a la PSTN.

Para nuestra estructura tenemos creadas dos troncales IAX (una para IPKall que es un proveedor de telefonía IP en USA y la otra para Guayaquil).

En cuanto a las troncales SIP las usamos para apuntar a los gateways (FXO), con la troncal de Lima, con una cuenta de proveedor Skype y con un proveedor de telefonía IP en USA(ver figura 4.7) .

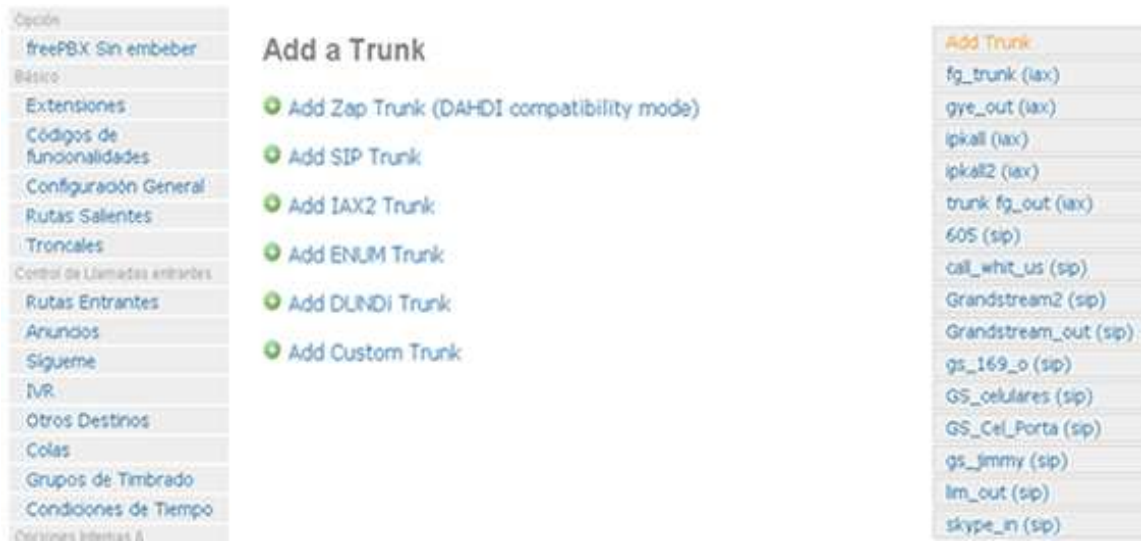


FIGURA 4.7. CONFIGURACIÓN DE TRONCALES

Rutas salientes

Define el plan de marcado (*dial plan*), es decir, se indica que de acuerdo al número marcado se vaya por una determinada troncal u otra.

Para nuestro caso hemos configurado las siguientes salidas: celulares de la oficina, celulares externos, locales, nacionales, internacionales, Guayaquil y Lima; ver figura 4.8:

The image shows the 'Add Route' configuration page in Asterisk. On the left is a navigation menu with categories like 'freePBX Sin embeber', 'Bases', 'Extenciones', 'Códigos de funcionalidades', 'Configuración General', 'Rutas Salientes', 'Troncales', 'Control de Llamadas entrantes', 'Rutas Entrantes', 'Anuncios', 'Sigurne', 'IVR', 'Otros Destinos', 'Colas', 'Grupos de Timbrado', 'Condiciones de Tiempo', 'Opciones Internas & Configuración', 'Conferencias', 'Otras Aplicaciones', 'Música en Espera', 'Conjuntos de PIN', and 'Paginación e Interrupción'. The main area is titled 'Add Route' and contains the following fields and options:

- Route Name: [text input]
- Route CID: [text input]
- Route Password: [text input]
- PIN Set: [dropdown menu, value: None]
- Emergency Dialing: [checkbox, unchecked]
- Intra Company Route: [checkbox, unchecked]
- Music On Hold?: [dropdown menu, value: default]
- Dial Patterns: [text area]
- Override Extension CID: [checkbox, unchecked]
- Clean & Remove duplicates: [checkbox, unchecked]
- Dial patterns wizards: (pick one) [dropdown menu]
- Trunk Sequence: [three dropdown menus]
- Submit Changes: [button]

On the right, there is a sidebar titled 'Add Route' showing a list of existing routes:

- 0 celi
- 1 celof
- 2 celulares
- 3
- 9_outside
- 4 trend
- 5
- internacion
- 6 gs_169
- 7 fg
- 8 gys_out
- 9 quitogys
- 10 605
- 11 lima

FIGURA 4.8. CONFIGURACIÓN DE RUTAS SALIENTES

Rutas entrantes

Permite configurar como serán tratadas las llamadas entrantes por cualquiera de las troncales al sistema.

Las entradas las hemos configurado de la siguiente manera: 2350 permite que ingresen las llamadas a la empresa Isacnet, 2351 las llamadas se van a la empresa Sibagal Cia. Ltda. que pertenece a Isacnet S. A., 2352 solo para que sea call center de departamento Técnico (ver figura 4.9).

The screenshot shows the 'Add Incoming Route' configuration page. On the left is a sidebar with navigation links: 'Opciones', 'freePBX Sin embeber', 'Básico', 'Extensiones', 'Códigos de funcionalidades', 'Configuración General', 'Rutas Salientes', 'Troncales', 'Control de Llamadas Entrantes', 'Rutas Entrantes', 'Anuncios', 'Sigüeme', 'IVR', 'Otros Destinos', 'Colas', 'Grupos de Timbrado', and 'Condiciones de Tiempo'. The central form is titled 'Add Incoming Route' and contains the following fields:

- Description:
- DID Number:
- Caller ID Number:
- CID Priority Route:
- Options:

- Alert Info:
- CID name prefix:
- Music On Hold:
- Signal RINGING:
- Pause Before Answer:
- Privacy:

On the right sidebar, there is a list of existing routes under the heading 'Add Incoming Route' and 'All DIDs (toggle sort)'. The list includes:

- User DIDs
- General DIDs
- Unused DIDs
- any DID / any CID
- 2350 / any CID
- 2352 / any CID
- 2353 / any CID
- 2354 / any CID
- 296 / any CID
- 605 / any CID
- ma
- any DID / 3609170032
- SIBAGAL
- 2351 / any CID

FIGURA 4.9. CONFIGURACIÓN RUTAS ENTRANTES

Recepcionista digital

Permite configurar una grabación que dé la bienvenida a los usuarios externos para luego pedir el número de extensión.

Tenemos creadas dos recepciones digitales: Isacnet S. A. y Sibagal Cia. Ltda. para cuando ingresen las llamadas estas puedan describir las opciones del IVR (ver figura 5.0).



FIGURA 5.0. CONFIGURACIÓN DE RECEPCIONISTA DIGITAL

Grupos de timbrado

Permite crear grupos de timbrado. De esta forma marcando un solo número se pueden llamar a varios usuarios. Para la empresa solo tenemos creado un grupo de marcado que es el call center de departamento técnico para que puedan recibir en orden aleatorio las llamadas de clientes. ; ver figura 5.1:

Add Ring Group

Add Ring Group

Ring-Group Number: 60115
 Group Description:
 Ring Strategy: ringall
 Ring Time (max 60 sec): 20
 Extension List:
 Extension Quick Pick: (pick extension)
 Announcement: none
 Play Music On Hold? Ring
 CID Name Prefix:
 Alert Info:
 Ignore CF Settings:
 Skip Busy Agent:
 Confirm Calls:
 Remote Announce: Default
 Too-Late Announce: Default
 Change External DID Configuration

Add Ring Group

nocturno (600)
Departamento Tecnico (60109)
marlene Lima (60110)
Ext-701-lima (60111)
telefono jimmy (60112)
William Salas (60113)
cel (60114)

FIGURA 5.1. CONFIGURACIÓN DE GRUPOS DE TIMBRADO

Teléfonos IP

La configuración de estos teléfonos marca Grandstream que hemos adquirido es muy simple debido a que solo mediante entorno web debemos poner la IP que nos indica la pantalla del teléfono, por medio del DHCP automáticamente le asigna una dirección IP.

En la parte de cuenta, para que éste se conecte, debemos poner:

- La extensión creada en la central
- La clave creada para esa extensión en la central.

Gateways (FXO)

Los gateways también Grandstream tienen una fácil configuración desde entorno web, la cual es de la siguiente manera:

- Ingresamos la IP default del equipo para ingresar vía web.
- Cambiamos a una IP estática perteneciente a la misma red.
- En la parte de configuración general ponemos las rutas entrantes iguales a las creadas en la central para que puedan cumplir esas políticas.
- Ponemos en la parte de cuenta la IP del server (192.168.0.16) para que éste se vea con la troncalización SIP creada en nuestra central y se pueda registrar.

4.5.3. Configuraciones generales y extras

Son las configuraciones generales, como por ejemplo el número de segundos a timbrar, o antes de enviarlo al correo de voz.

Como políticas tenemos creadas claves para llamadas salientes (celulares externos, nacionales e internacionales), bloqueo de salida para el call center del departamento técnico.

Algo extra que hemos realizado en este proyecto es instalar los codecs de video H264 y H263. De esta manera tenemos dos grandes ventajas para uso de video en nuestro sistema:

- Videoteléfonos entre Quito-Lima para que puedan tener video conferencias.
- Cámaras IP registradas como una extensión más en nuestra central para poder marcar desde un videoteléfono como una extensión y así ver directamente lo que muestran las cámaras en tiempo real.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS DE DESEMPEÑO

5.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo consiste en mostrar que el servidor está correctamente dimensionado cursando un fuerte tráfico a través de sus diversas troncales.

Se marcará mediante las seis líneas analógicas existentes en la empresa que están conectadas a los gateways (FXO) al mismo tiempo, un canal con Guayaquil y un canal con Lima.

Con esto probaremos el máximo tráfico de troncales que es lo representativo para la central, ya que las llamadas entre extensiones en Quito se trabajan en la red LAN por lo cual no es muy representativo para el trabajo de nuestro servidor.

Los parámetros a analizar se los obtendrá mediante el modulo de reportes del sistema Elástix, los cuales son:

- **Número de llamadas concurrentes:** Se verá cuál es el aumento de trabajo del servidor mediante el uso de todas las troncales conmutadas analógica-digital y a su vez con los canales de Guayaquil y Lima.
- **Trabajo periódico de nuestro servidor:** Podremos observar en detalle el máximo de llamadas entrantes y salientes con que trabaja nuestra central telefónica tanto en troncales como en usuarios.

5.2. RESULTADOS

Las muestras se hicieron de la manera continua que se realiza en el día a día de la empresa por lo cual tomamos el gráfico del módulo de reportes más repetitivo en el mes, consecuentemente realizamos un tráfico máximo en cuanto a las troncales y canales de los gateway para poder ver qué tanto es la carga en nuestro server así obteniendo una nueva figura.

5.2.1 Trabajo continuo del servidor

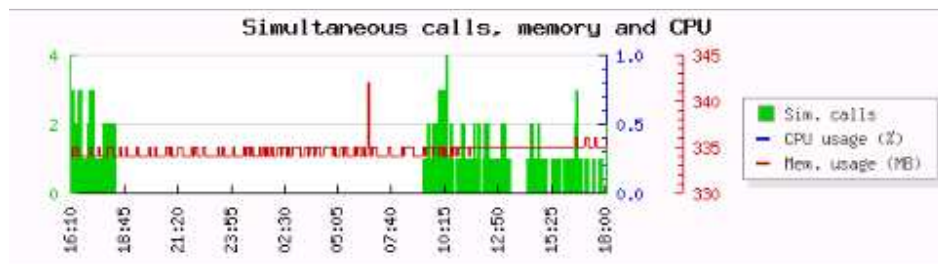


FIGURA 5.2. TRABAJO CONTINUO DEL SERVIDOR

En la figura 5.2 podemos observar en un rango de tiempo el trabajo que realiza nuestra central telefónica tanto en llamadas simultáneas, trabajo del CPU y la memoria usada.

Las pruebas se realizaron mediante el horario de trabajo de la empresa que es de 9:00 a 18:30, por lo que se pudo analizar:

Llamadas simultáneas por troncales y puertos

Medida 1

- Se puede aproximar que a las 10:30 AM se tiene el mayor tráfico ya que existen 4 llamadas simultáneas.

Medida 2

- Aproximadamente desde las 16:00 a las 17:00 se tienen 3 llamadas consecutivas a la vez.

Medida 3

- La mayoría del día laboral existen de 1 a 2 llamada simultáneamente.

Uso de la memoria

Medida 1

- Con 4 llamadas simultáneamente se utiliza 335 MB de memoria.

Medida 2

-Con 3 llamadas simultáneamente se utiliza 335 MB de memoria.

Medida 3

-Con 1 a 2 llamadas el uso máximo de la memoria es de 335 MB.

Uso del CPU

Medida 1

- Con 4 llamadas nuestro CPU trabaja al 0.4%.

Medida 2

-Con 3 llamadas a la vez el CPU trabaja al 0.4%.

Medida 3

-Con 1 a 2 llamadas el uso máximo de nuestro CPU es del 0.4%.

5.2.2 Llamadas entrantes y salientes

En este punto lo que se quiere mostrar es el trabajo real que se realiza en el mes, basándonos en la cantidad de llamadas entrantes y salientes que tiene la empresa.

Resumen por extensión						
		Fecha inicio: 22 May 2010	Fecha fin: 22 Jun 2010			
		Filtrar por Extensión			Mostrar	
Inicio / Anterior (1 - 37 of 37) Siguiente / Fin						
Extensión	nombre usuario	# llamadas entrantes	# llamadas salientes	Seg. llamadas entrantes	Seg. llamadas salientes	Option
112	Fax Sibagal	16	0	00h. 08m. 52s	00h. 00m. 00s	Detalle de llamadas
200	RECEPCION ISACNET	981	2951	08h. 46m. 45s	61h. 41m. 49s	Detalle de llamadas
201	RECEPCION SIBAGAL	127	67	00h. 58m. 58s	00h. 57m. 33s	Detalle de llamadas
202	VISITAS ISACNET	0	0	00h. 00m. 00s	00h. 00m. 00s	Detalle de llamadas
203	FERNANDA VARGAS	74	715	02h. 39m. 55s	21h. 09m. 38s	Detalle de llamadas
204	Jimmy Gallardo (Viajero)	0	2	00h. 00m. 00s	00h. 08m. 34s	Detalle de llamadas
205	MARLENE VIAJERA	2	0	00h. 00m. 56s	00h. 00m. 00s	Detalle de llamadas
206	MARLENE LIMA	0	0	00h. 00m. 00s	00h. 00m. 00s	Detalle de llamadas
207	MARLENE BARRIGA	247	397	11h. 45m. 18s	13h. 11m. 18s	Detalle de llamadas
208	JIMMY GALLARDO	112	185	04h. 23m. 00s	06h. 02m. 13s	Detalle de llamadas
209	DEP TECNICO	312	228	09h. 47m. 05s	02h. 51m. 17s	Detalle de llamadas
210	KATY BARRIGA	305	454	09h. 32m. 37s	05h. 57m. 22s	Detalle de llamadas
212	BILLY ALBAN	162	105	07h. 34m. 00s	04h. 33m. 41s	Detalle de llamadas
213	SALA CAPACITACIONES	1	4	00h. 00m. 00s	00h. 00m. 48s	Detalle de llamadas

FIGURA 5.3. RESUMEN DE LLAMADAS POR EXTENSIONES

En la figura 5.3 se tiene un resumen detallado de las extensiones más representativas de la empresa en cuanto a llamadas, el cual nos muestra: extensión, nombre del usuario, número de llamadas entrantes, número de llamadas salientes, segundos de llamadas entrantes, segundos de llamadas salientes y un detalle gráfico.

Como para podernos dar cuenta del trabajo de llamadas que realiza nuestra central, hemos tomado en cuenta el trabajo en un mes de la recepcionista, la cual es la que tiene que receptor y realizar la gran mayoría de llamadas para Isacnet S.A.

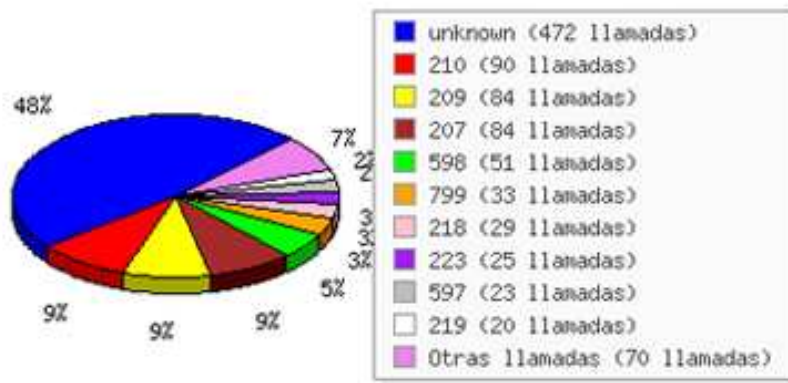
En la medida de un mes tomada desde el 22 de Mayo del 2010 hasta el 22 de Junio del 2010, se puede ver en la figura 5.3.1 que la recepcionista realizó 2946 llamadas y receptó 981 llamadas.

Con lo que se puede reconocer que aproximadamente nuestro servidor tiene un 76% de trabajo de llamadas salientes y un 24% de trabajo de llamadas entrantes.

El diagrama del Top 10 nos dice que el 76% de llamadas salientes de la extensión 200 son fuera de la oficina es decir por las troncales y un 50% de las llamadas entrantes ingresan de igual manera por nuestras troncales.



Top 10 (entrante) extension 200



Top 10 (saliente) extension 200

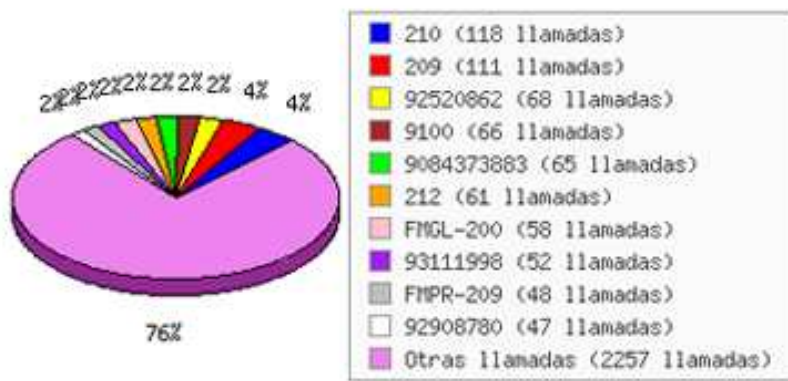


FIGURA 5.4 GRÁFICO DE LLAMADAS EXTENSIÓN RECEPCIÓN

5.2.3 Trabajo con tráfico de llamadas sobre el servidor

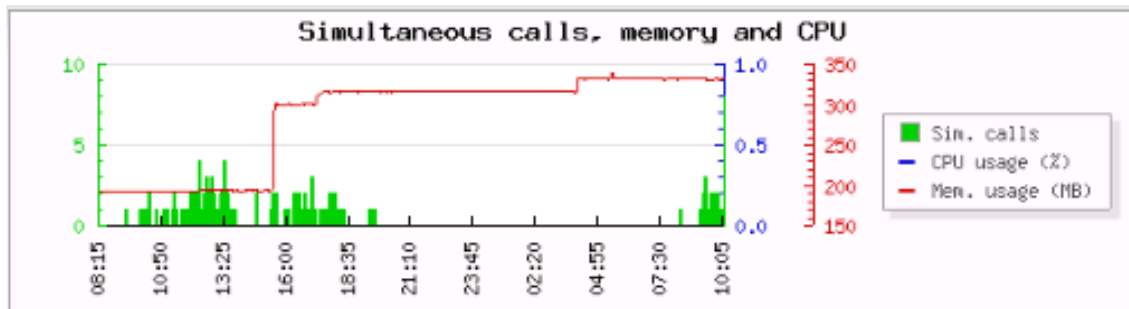


FIGURA 5.5 TRABAJO CON TRÁFICO DE CANALES DEL SERVIDOR

En la figura 5.5 podemos observar en un rango de tiempo el trabajo que realiza nuestra central telefónica tanto en llamadas simultáneas, trabajo del CPU y la memoria usada.

El tráfico de llamadas por canales lo realizamos a las 10:05 AM por lo que el gráfico nos permite analizar:

Llamadas simultáneas por troncales y puertos

Medida 1

- Se puede observar que a las 10:05 AM se tiene el mayor tráfico ya que se usan 8 llamadas al mismo tiempo.

Uso de la memoria

Medida 1

- Con 9 llamadas se utilizan 340 MB de memoria.

Uso del CPU

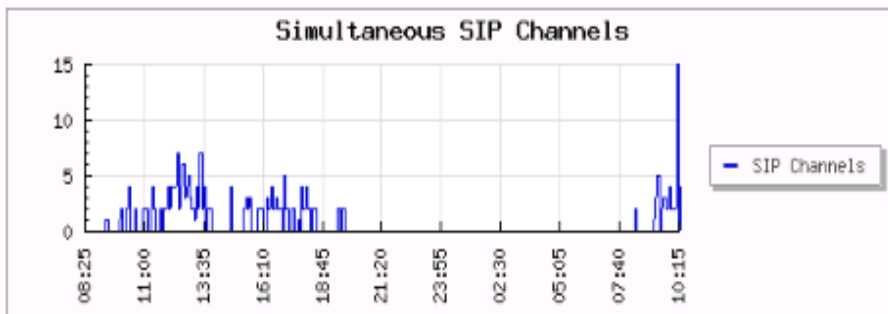
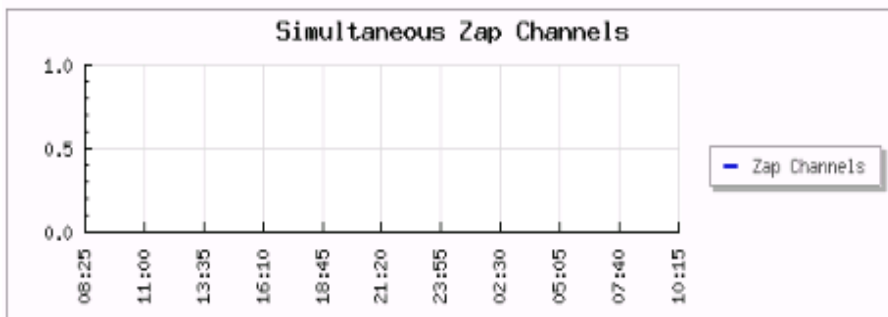
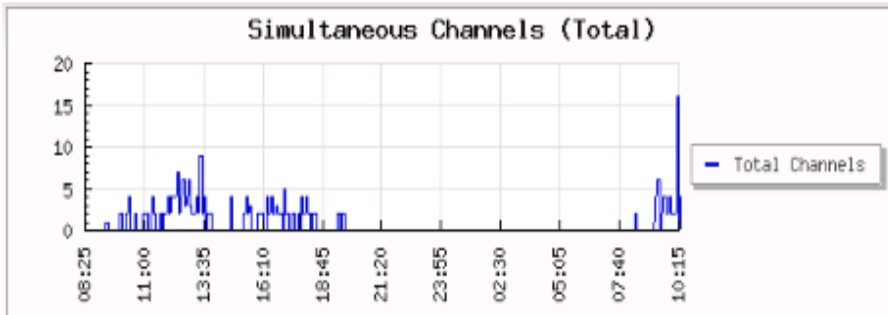
Medida 1

- Con 9 llamadas nuestro CPU trabaja al 0.9%.

5.2.4 Reporte de uso de canales

En el módulo de reportes del Elástix podemos detallar de mejor manera los canales para poder saber qué protocolo usamos para nuestras pruebas.

Para poder entender la figura 5.6 debemos saber que las troncales son lo mismo que canales, de esta manera tenemos detalladamente el uso de canales que realizamos en nuestra prueba a las 10:05 AM.

 **Reporte de Uso de Canales**

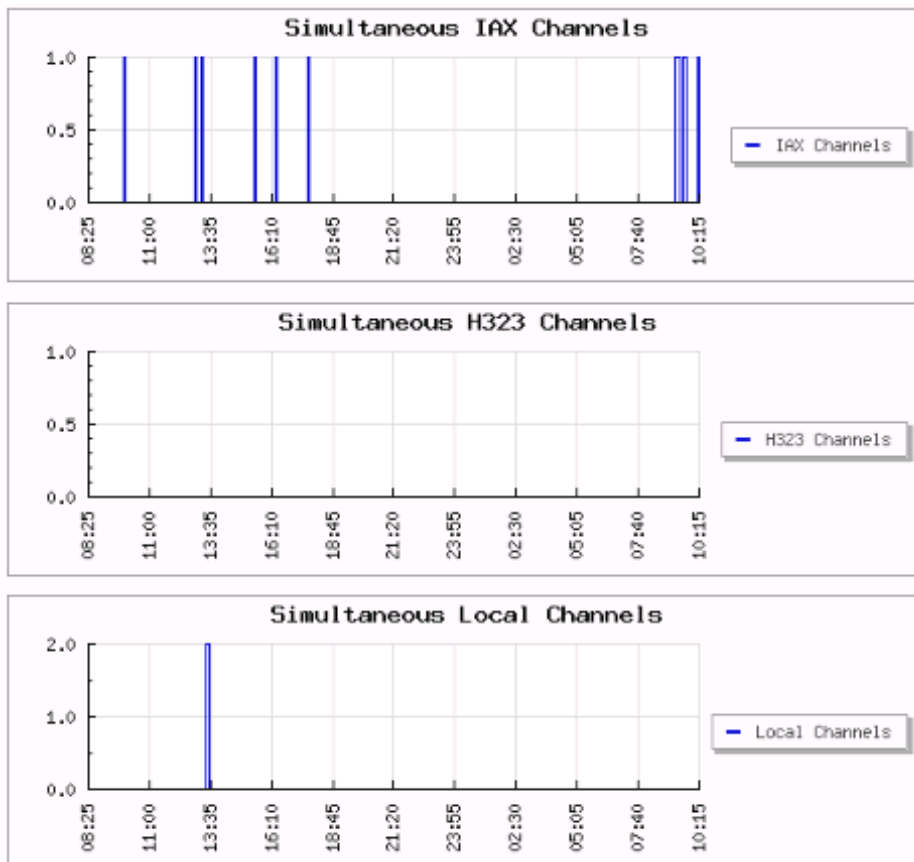


FIGURA 5.6 REPORTE DE USO DE CANALES

Podemos ver mediante este reporte que a las 10:05AM se presentan un total de 6 canales simultáneos los cuales están conformados de la siguiente manera: 5 canales SIP y 1 canal IAX.

5.2.5 Conclusiones

Cabe mencionar que las pruebas fueron realizadas usando puertos y troncales, las troncales, como se demuestra en la figura 5.5, son: 5 canales SIP y 1 canal IAX.

Los canales usados fueron:

- Troncal SIP Grandstream2 (Sibagal) posee 1 puerto.
- Troncal SIP Grandstream_out (Isacnet) posee 3 puertos.
- Troncal SIP GS_celulares (Celulares) posee 1 puerto
- Troncal SIP gs_169_o (Soporte técnico) posee 1 puerto.
- Troncal SIP lim_out (Lima) entre dos servidores.
- Troncal IAX gye_out(Guayaquil) entre dos servidores.

De esa manera el módulo de reportes nos muestra que la figura 5.6 toma solamente los canales, mientras que la figura 5.5 toma el tráfico de los 6 puertos más las dos troncales puras sin puertos que son lim_out y gye_out.

Si comparamos la medida 1 en el Trabajo con tráfico del servidor y las medidas del trabajo continuo del servidor podemos ver que el uso de memoria y del CPU no es representativo o preocupante, ya que teóricamente con estas características de hardware podemos trabajar hasta con 100 extensiones y un tráfico de 50 llamadas simultáneas.

En este caso lo que se debe tomar en cuenta es el ancho de banda para los canales por la WAN que consumen las troncales puras como lim_out y gye_out, lo recomendado es 64kbps por cada canal que es el ancho de banda necesario en telefonía digital sin compresión.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES FINALES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. CONCLUSIONES FINALES

Al terminar el presente proyecto de titulación se puede concluir lo siguiente:

- Como resultado de la comparación de las diversas tecnologías disponibles, se concluye que las mejores alternativas son usar los protocolos IAX2 y SIP, así como hardware basado en IP. El codec a ser usado es el G.711 por las razones expuestas en la sección 6.2 (Recomendaciones).
- Se implementó la red piloto de telefonía IP haciendo uso de dos servidores gemelos con clientes tanto en la agencia de Guayaquil, Quito y Lima. Al haber equipo de respaldo se logra una mayor eficiencia en la disponibilidad del sistema, lo que genera en los usuarios confianza para comenzar a usar la red de telefonía IP.
- Se midió la capacidad real del sistema realizando pruebas de desempeño para ver el número de llamadas concurrentes, de acuerdo al tráfico en distintos días y horas de un día normal de trabajo.. Todas las pruebas fueron satisfactorias, encontrándose que la capacidad real del sistema es de 2 a 3 llamadas concurrentes en un momento normal de trabajo. Mientras que hablando de características del hardware soporta hasta 100 extensiones con un tráfico de 50 llamadas concurrentes. De esta forma se puede dar servicio a los usuarios de la red de la empresa Isacnet S.A. con una calidad alta.

- En lo concerniente a redes privadas, hoy las empresas cuentan con dos infraestructuras: Una de voz y otra de datos. La perspectiva apunta a que ambas convergerán en un solo canal, lo que reportará a los usuarios ventajas en cuanto a la calidad de servicio, así como de costo y operación.
- Por el momento, los beneficios de utilizar las redes de datos para transporte de voz parecen inclinarse más hacia lo económico. Un ejemplo es el ahorro que se da en llamadas de larga distancia, porque se utiliza la red ya existente; sin embargo, para que este servicio se propague, será necesario ampliar la capacidad de las redes IP, hecho que ya realizan algunas empresas.
- ¿Las desventajas? Existe una fundamental: Las redes de datos aún presentan baja calidad para comunicaciones de voz, sobre todo en lo referente a retrasos y caídas de la red
- En lo que respecta a las empresas, deseosas de adquirir dichas soluciones de voz, tendrán que analizar los pros y los contras; deberán tomar en cuenta que el mercado ofrece varias tecnologías de transporte para transmitir la voz: IP, Frame-Relay y ATM⁷, por lo que habrán de determinar cuál se acopla más a sus necesidades y a su infraestructura actual.
- Otro punto importante es la definición de la ruta para migrar las actuales redes, de conmutadas a tecnologías de transporte. Este es un proceso que involucra un gran salto tecnológico y, por lo tanto, habrá que seleccionar al integrador adecuado para dicha transición.

⁷ ATM – (Asynchronous Transfer Mode). La tecnología Modo de Transferencia Asíncrona es el corazón de los servicios digitales integrados que ofrecerán las nuevas redes digitales de servicios integrados de Banda Ancha (B-ISDN)

- Por lo tanto, se tiene que establecer un compromiso entre calidad de voz, retardo y ancho de banda. Actualmente la tecnología avanza a grandes pasos y las grandes compañías de equipos de voz diariamente nos presentan sorpresas favorables, creemos que en un futuro no muy lejano estas desventajas no tendrán que ser limitantes.

6.2. RECOMENDACIONES

Luego de examinar minuciosamente cada tecnología usada, se puede decidir fácilmente cuáles se recomiendan para ser usadas en la fase de producción definitiva del sistema.

Las tecnologías recomendadas son las siguientes:

Protocolo: Se comprobó que el protocolo IAX2 es más robusto, además que atraviesa ambientes de NAT. Sin embargo, este protocolo todavía no está muy difundido por lo que SIP también puede usarse. En este último caso para traspasar NAT⁸ se puede usar protocolos auxiliares como STUN⁹.

Hardware: Se recomienda el uso de hardware basado en IP. El tipo de hardware depende mucho de las funcionalidades, protocolos y codecs que necesitemos, del presupuesto con el que se cuente y de la infraestructura existente. Por ejemplo, una

⁸ **NAT** (Network Address Translation) es un mecanismo utilizado por routers IP para intercambiar paquetes entre dos redes que se asignan mutuamente direcciones incompatibles. Consiste en convertir en tiempo real las direcciones utilizadas en los paquetes transportados. También es necesario editar los paquetes para permitir la operación de protocolos que incluyen información de direcciones dentro de la conversación del protocolo.

⁹ **STUN** (Simple Transversal of UDP over NATs) es un protocolo de red del tipo cliente/servidor que permite a clientes NAT encontrar su dirección IP pública, el tipo de NAT en el que se encuentra y el puerto de Internet asociado con el puerto local a través de NAT. Esta información es usada para configurar una comunicación UDP entre dos hosts que se encuentren tras enrutadores NAT.

institución que solo cuente con teléfonos analógicos preferirá conservar esos teléfonos y convertirlos a IP haciendo uso de los famosos ATA.

Otra institución con un poco más de presupuesto preferirá invertir en teléfonos IP (hardware) cuyo costo es de alrededor de US\$110 cada uno. Otra opción es usar teléfonos por software (softphones) y de esta manera no se gasta nada. Se recomienda esta opción para la primera fase de producción. Para los servidores se recomienda continuar con los que ya viene trabajando la red piloto.

Códec: Las prioridades de la red son aprovechar la tasa de bits y brindar la mayor cantidad de comunicaciones con la mejor calidad posible, se recomienda usar el codec G.711 que demostró dar la mejor calidad y la mayor capacidad de llamadas concurrentes.

6.3. TRABAJOS FUTUROS

Tradicionalmente, las comunicaciones de voz siempre se han realizado a través de circuitos conmutados; en otras palabras, mediante canales temporales que se habilitan para la llamada en cuestión, los cuales se reservan para el uso exclusivo de dicha llamada. Sin embargo, la conmutación por circuitos también tiene sus puntos fuertes y débiles. Por un lado, se encuentra la alta calidad y confiabilidad que esta tecnología ha alcanzado; por el otro, la ineficiencia en el aprovechamiento de los canales.

La contraparte es la forma de transmitir en conmutación de paquetes o comunicación empleada para transmitir datos. La propuesta se caracteriza por emplear medios compartidos.

Los recursos no se reservan para una sola sesión, por el contrario; los paquetes que componen la información de todos los usuarios de una misma red viajan intercalados entre sí, sobre un mismo canal.

El concepto básico para enviar la voz sobre redes de datos es relativamente simple. Se trata de digitalizarla, tomar los bits resultantes y agruparlos en paquetes de información, para después enviarlos a través de una red de datos. Finalmente, los paquetes se reagrupan en el extremo contrario y se reconstruye la voz.

Para ello puede emplearse cualquier tipo de red: LAN, WAN, Internet, intranet, extranet, etcétera; así como tecnologías de transporte diversas: ATM, Frame - Relay, IP, Ethernet. A pesar de que cada una de estas tecnologías ofrece ventajas propias, la tendencia parece apuntar a que IP será la opción dominante en el futuro.

En este punto hay que hacer una aclaración: voz sobre IP no significa lo mismo que voz sobre Internet. IP es sólo el protocolo de transporte y puede ser utilizado tanto en redes privadas como en redes públicas, que es el caso de Internet. Así, es posible transmitir voz utilizando el protocolo IP. Aunque la red hace uso de dicha tecnología, la calidad deja mucho que desear por diversas razones.

Una de las tendencias tecnológicas en boga es la transmisión de la voz a través de redes de datos, la pregunta es ¿Porqué no seguir haciéndolo mediante los tradicionales circuitos? Las razones son varias, aunque hay dos motivos principales:

- La eficiencia en los servicios, ya que estas tecnologías aprovechan mejor los recursos; es decir, los canales existentes
- La reducción de costos, ya que la industria de los datos se ha desarrollado sobre estándares abiertos, lo que se traduce en precios más bajos.

Otras ventajas que invitan a modificar la actual infraestructura de circuitos son:

- La arquitectura es completamente abierta y permite desarrollar nuevas aplicaciones y software específico a las necesidades del cliente
- Al desplegar las redes multiservicios, se borran las limitantes, ya que en ellas pueden converger distintas tecnologías.
- Los principales beneficios tecnológicos que otorgan las redes de datos para optimizar las soluciones de telecomunicaciones es la reducción de costos debido a la convergencia de soluciones de datos y voz, con esto conseguimos en muchos casos no pasar por las RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada) nacionales e internacionales, haciendo que el costo de llamada sea gratuito como lo han hecho diversas redes famosas como: messenger y skype, así como el ahorro en sistemas de cableado estructurado que integran voz y datos en un solo UTP¹⁰ que llegue hasta el escritorio.

Muchos trabajos pueden ser derivados del presente proyecto de titulación entre los que se tienen:

Implementar la no pérdida de comunicación cuando se caiga el servidor principal: Este tema por sí solo es otro tema de proyecto de titulación debido a que involucra una sincronización a un mayor nivel de la que se plantea en este proyecto. Para ello el Asterisk por sí solo no basta y se hace necesario el uso de un programa auxiliar llamado OpenSER. Al usar OpenSER, la conversación se vuelve punto a punto y se usa el servidor únicamente para señalización. En caso cayera el servidor, las comunicaciones se mantienen sin ningún problema.

¹⁰ Unshielded Twisted Pair, un tipo de cableado utilizado principalmente para comunicaciones.

Implementar nuevos servicios: Estos servicios pueden incluir video es decir aparte de la video llamada, se puede colocar cámaras SIP/VOIP que funcionarían como una extensión mas de nuestra central telefónica, es decir al marcar de un videoteléfono la extensión de la cámara se podrá observar la imagen en vivo que la cámara transmite.

Un IVR es un Sistema Automatizado de Respuesta de Voz. TTS, en cambio, es la conversión de texto a voz, usado en IVRs. Adicionalmente se puede hacer streaming de audio y video, como por ejemplo transmisión de canales de radio o TV de Internet a los usuarios de la red de VoIP.

BIBLIOGRAFÍA

[GAR2010]

http://liarjo.spaces.live.com/?_c11_BlogPart_pagedir=Next&_c11_BlogPart_handle=cnsl4131EA552C5BB029!3867&_c11_BlogPart_BlogPart=blogview&c=BlogPart

[BAN2010] Banerjee K. 'Introduction to RTP'. URL:

http://geocities.com/intro_to_multimedia/RTP

Información de contacto: intro_to_multimedia@yahoo.co.in

Consultado en Marzo de 2010. Sección: RTP.

[DIG2010] Digium ®, The Asterisk Company. URL: <http://www.digium.com/>.

Información de contacto: info@digium.com. Consultado en Marzo de 2010. Sección: Hardware.

[GAR2010] Blog Juan Pablo García González

http://liarjo.spaces.live.com/?_c11_BlogPart_pagedir=Next&_c11_BlogPart_handle=cnsl4131EA552C5BB029!3867&_c11_BlogPart_BlogPart=blogview&c=BlogPart

[GNS 2010] Página de configuración y escenarios de gateways Grandstream

http://www.grandstream.com/support/gxw_series/gxw410x/gxw410x_support.html

[HER1999] Hersent O, Gurle D, Petit J. 2000. 'IP Telephony: Packet Based Communications Systems'. Addison-Wesley. pp. 121-161.

[HUA2005] Huapaya, J. 2005. 'Separatas de Clase del Curso Telecomunicaciones Digitales'. PUCP.

[ILB2010] Proyecto iLBCfreeware.org. 2003. URL
<http://www.ilbcfreeware.org/>. Información de contacto:
info@ilbcfreeware.org. Consultado en Mayo de 2010.

[JAC2006] Jacques O. 2006. 'SIPp Project Page'. URL
<http://sipp.sourceforge.net/>. Información de contacto:
jacques2@gmail.com. Consultado en Mayo de 2010.

[MAR2000] Martínez R, et al. 2000. 'FAQ sobre Linux'. URL
http://www.linux-es.org/Faq/Files/Html/FAQ_Linux_V2.0.2.html.
Información de Contacto: rafael@viewpoint.no. Consultado en Abril de 2010.

[MAR2006] Martínez F. 'Foro VoIP'. URL: <http://www.voipforo.com>
Información de contacto: info@voipforo.com
Consultado en Junio de 2010. Secciones: H.323, SIP y Codecs.

[MOR2002] Moreno M, Álvarez M, Vinyes J.
'Una primera aproximación al protocolo SIP'. URL:
<http://www.ahciet.net/comun/portales/1000/10002/10007/10302/docs/009.pdf>. Revista
de Telecomunicaciones 91 AHCIENT. 2002.
Consultado en Marzo de 2010.

[MYS2006] MySQL AB. 'Manual de Referencia de MySQL 5.0'. URL: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/index.html>. 2006. Sección consultada: 8.7 El programa de copia de seguridad de bases de datos mysqldump. Consultado en Junio de 2010.

[NOR2003] Noronha G, Mora H. 'APT HOWTO – Capítulo 3'. URL <http://www.debian.org/doc/manuals/apt-howto/ch-apt-get.es.html>. Consultado en Marzo de 2010.

[PAC2006] Packetizer INC. URL: <http://www.packetizer.com> Información de contacto: webmaster@packetizer.com Consultado en Mayo de 2010. Sección: H.323.

[RAM2005] Ramesh K et al. 2005. 'Cisco IP Telephony: Planning, Design, Implementation, Operation, and Optimization'. Cisco Press. pp. 12-22.

[RFC2543] Handley M, Schulzrinne H, et al. 'SIP: Session Initiation Protocol'. 1999. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2543.txt>.

[RFC2705] Arango M, Duran A, et al. 'Media Gateway Control Protocolo (MGCP)'. 1999. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2705.txt>.

[RFC3261] Rosenberg J, Schulzrinne H, et al. 'SIP: Session Protocol'. 2002. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>.

[RFC3550] Schulzrinne H, Casner S, et al. 'RTP: A transport Protocol Real-Time Applications'. 2003. URL:
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>.

[RFC3665] Johnston A, Donovan S, et al. 'Session Initiation Protocol (SIP) Basic Call Flow Examples'. 2003. URL:
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3665.txt>.

[RFC3951] Andersen S, Duric A, et al. 'Internet Low Bit Rate Codec'. 2004
URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3951.txt>.

[ROB2006] Robertson, A. 'The High-Availability Linux Project'. URL:
<http://www.linux-ha.org>. Información de contacto: alanr@unix.sh
Consultado en Abril de 2010. Secciones: Principal y HeartBeat.

[SPE2006] Spencer M, Capouch B, et al. 'IAX: Inter-Asterisk eXchange Version 2'. 2006. URL: <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-guy-iax-01.txt>.

[UIT2003] Recomendación UIT-T H.323. 2003. 'Sistemas de comunicación multimedios basados en paquetes'. UIT.

[VAL2001] Valero, L. 'Curso Audiovisual Interactivo de Codificación de Voz'. 2001. URL: <http://ceres.ugr.es/~alumnos/luis/codif.htm>.

Consultado en Abril de 2010. Sección: RPE-LTP (GSM).

[VOI 2010] VOIP Foro

<http://www.voipforo.com/H323/H323ejemplo.php>

[WAL2005] Wallingford T. 2005. 'Switching to VoIP'. O'Reilly

[WOO1998] Woodard, Jason. 1998. 'Standard Speech Codecs', URL:

http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/speech_codecs/. University of Southampton.

Información de contacto: jpw@ecs.soton.ac.uk.

Consultado en Marzo de 2010. Secciones: PCM, GSM

[XOR2006] Xorcom Ltd. 2006. 'TS-1 Performance and Load Test Results'

URL: http://www.xorcom.com/pdfs/AB004_TS1_Tests.pdf

Información de contacto: info@xorcom.com. Consultado en Junio de 2010.

RELACIÓN DE ANEXOS

- Anexo 1: Hoja de datos teléfonos IP Grandstream: BT200, GXP1200, GXP2000, GXP2010, GXP 2020, GXV3000, GXV 3140.
- Anexo 2: Configuración básica de un teléfono IP.
- Anexo 3: Conectando un teléfono IP red.
- Anexo 4: Gateways Grandstream User Manual.
- Anexo 5: ATA Grandstream HT502 User Manual.
- Anexo 6: Configuración de gateways con troncal SIP Vs Elastix.
- Anexo 7: Escenarios típicos para uso de gateways.
- Anexo 8: Conectando un gateway a la red IP.
- Anexo 9: Configuración de gateways como peer to peer.
- Anexo 10: Configuración de ATA'S como peer to peer.
- Anexo 11: Configuración de parámetros de cadencias para Ecuador.
- Anexo 12: Tramas Paquetes Capturados.
- Anexo 13: Cámaras SIP/VOIP y visualización a través de teléfonos de video conferencia.
- Anexo 14: Solución de Problemas en Elastix.
- Anexo 15: Manual de Usuario Elastix.
- Anexo 16: Enlaces de Interés, interoperabilidad sistemas Trixbox, Elastix.
- Anexo 17: Apuntes sobre VoIP.
- Anexo 18: Instaladores ISO de los sistemas Trixbox, Elastix.