



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA DE MEJORA TÉCNICA PARA TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP
QUE UTILIZAN EL PROTOCOLO SIP COMO SEÑALIZACIÓN**

Baudilio Giancarlo Boteo Rosario

Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORA TÉCNICA PARA TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP
QUE UTILIZAN EL PROTOCOLO SIP COMO SEÑALIZACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BAUDILIO GIANCARLO BOTELO ROSARIO

ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paíz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Luis Fernando García Cienfuegos
SECRETARIA	Inga. Marcía Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE MEJORA TÉCNICA PARA TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP QUE UTILIZAN EL PROTOCOLO SIP COMO SEÑALIZACIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 2 de febrero del 2016.

Baudilio Giancarlo Boteo Rosario

Guatemala 12 de julio de 2016

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titular: "Propuesta de mejora técnica para telefonía de voz sobre IP que utilizan el protocolo SIP como señalización", del señor Baudilio Giancarlo Boteo Rosario, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



Ref. EIME 41. 2016.
Guatemala, 22 de JULIO 2016.

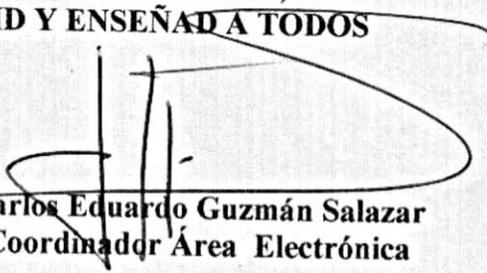
Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
PROPUESTA DE MEJORA TÉCNICA PARA TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP QUE UTILIZAN EL PROTOCOLO SIP COMO SEÑALIZACIÓN, del estudiante **Baudilio Giancarlo Boteo Rosario**, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



SRO



REF. EIME 41. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; BAUDILIO GIANCARLO BOTE RO SARIO, titulado: PROPUESTA DE MEJORA TÉCNICA PARA TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP QUE UTILIZAN EL PROTOCOLO SIP COMO SEÑALIZACIÓN, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López

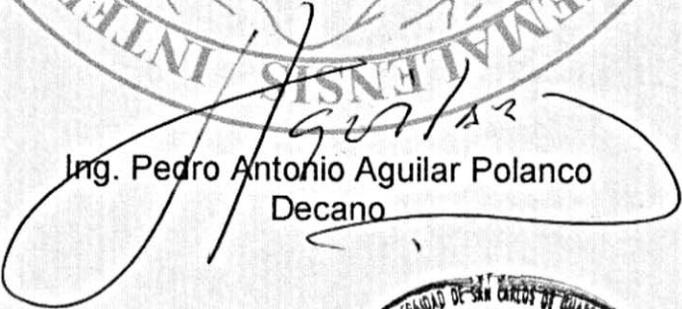


GUATEMALA, 16 DE AGOSTO 2016.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA TÉCNICA PARA TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP QUE UTILIZAN EL PROTOCOLO SIP COMO SEÑALIZACIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Baudilio Giancarlo Boteo Rosario**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, septiembre de 2016

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Cuya sabiduría, fortaleza y amor han guiado mis pasos a lo largo de mi vida, aun sin yo estar plenamente consciente de su presencia, pero que hoy puedo reconocer que separado de Él nada podría hacer.
- Mis padres** Baudilio Boteo Orozco y Gladys A. Rosario, por el sacrificio que han realizado en mi educación para que este logro sea posible, pues han sido, son y serán mi mayor fortaleza, ya que con su ejemplo me han enseñado que todo esfuerzo tiene su recompensa.
- Mi novia** Julia Gómez, quien con su amor y sabias palabras me dieron el apoyo que necesité en los momentos de desaliento para seguir con este trabajo hasta el final.
- Mis hermanos** Dulce Boteo, Wanda Boteo y Cristian Rangel, porque a pesar de nuestras diferencias son muy importantes para mí.
- Mis sobrinos** Nahomy Boteo, Maryori Boteo y Gabriel Boteo, por alegrar mi vida con su presencia.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mis padres** Baudilio Boteo Orozco y Gladys A. Rosario, por empujarme hacia la excelencia académica a través de su confianza e invaluable consejos.
- Mi novia** Julia Gómez, por embarcarte conmigo en este proyecto, que en un principio me parecía poco probable de llevar a su término, pero con tu apoyo me has dado la fortaleza para hacerlo posible.
- Héctor Car, Alexander Pinzón** Por esas conversaciones que poco a poco fueron iluminando el avance de mi trabajo.
- Ingeniería Avanzada S. A. , Michael Duarte, Carlos Alvarez** Por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y de enseñarme valiosas lecciones para la vida.
- Ing. Ingrid de Loukota** Por su invaluable apoyo en cada una de las etapas de la elaboración de mi trabajo de graduación, además, de demostrarme que existen catedráticos responsables con gran calidad académica que están dispuestos a apoyar a los estudiantes.

	1.3.2.1.	Análisis de dígitos.....	15
	1.3.2.2.	Facturación (SDMR).....	17
	1.3.3.	Servicios.....	18
1.4.		Red digital de servicios integrados.....	19
	1.4.1.	Red de acceso.....	21
1.5.		Sistema de señalización por canal común número 7.....	22
	1.5.1.	Estructura de la red de señalización SS7.....	22
	1.5.2.	Protocolo de señalización SS7.....	24
	1.5.2.1.	Capa de enlace de datos MTP2.....	24
	1.5.2.2.	Capa de red MTP3.....	26
	1.5.2.3.	Capa de aplicación.....	27
2.		FUNDAMENTOS DE TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP.....	29
2.1.		Redes conmutadas por paquetes.....	29
	2.1.1.	Modelos de referencia.....	30
	2.1.2.	Componentes de una red IP.....	32
	2.1.2.1.	Direccionamiento IP en una red local.....	34
	2.1.2.2.	Direccionamiento IP en una red pública.....	35
2.2.		Modelo para la tecnología VoIP.....	35
	2.2.1.	Protocolos de señalización.....	36
	2.2.2.	Protocolos de transporte.....	37
2.3.		Telefonía voip.sip.....	37
	2.3.1.	Componentes de la de red de señalización voip.sip.....	38
	2.3.2.	Protocolos utilizados en el modelo TCP/IP.....	39

2.3.3.	Descripción de mensajes.....	41
2.4.	Realizando una llamada.....	42
2.4.1.	Registro de usuarios.....	43
2.4.2.	Inicialización de llamada.....	43
2.4.3.	Establecimiento de llamada.....	46
3.	COMPARATIVA TÉCNICA PARA TELEFONÍA TRADICIONAL <i>VERSUS</i> VoIP.SIP.....	49
3.1.	Infraestructura de transmisión.....	50
3.1.1.	Características de acceso.....	51
3.2.	Dispositivo de usuario.....	52
3.2.1.	Dispositivos con hardware específico.....	53
3.2.2.	Dispositivos con hardware no específico.....	54
3.3.	Métodos de contacto.....	55
3.3.1.	Identidad de usuarios.....	55
3.3.2.	Movilidad de usuarios.....	56
3.4.	Integración de servicios.....	57
4.	PROPUESTA DE MEJORA PARA TELEFONÍA SIP.....	59
4.1.	Propuesta para mejorar las características de la red IP.....	60
4.1.1.	Segmentación por redes lógicas.....	62
4.1.2.	Segmentación por servicios.....	64
4.1.3.	Administración del ancho de banda.....	65
4.1.4.	Respuesta a pérdida de paquetes.....	66
4.2.	Propuesta para mejorar las características de señalización SIP.....	67
4.2.1.	Ancho de banda.....	67
4.2.2.	Retraso.....	68
4.2.2.1.	<i>Jitter</i>	69

4.3.	Propuesta para selección de la aplicación voip.sip	
	softphone.....	71
4.3.1.	Requerimientos de una aplicación voip.sip.....	71
4.3.2.	Compatibilidad entre aplicación y plataforma.....	72
CONCLUSIONES.....		75
RECOMENDACIONES.....		77
BIBLIOGRAFIA.....		79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Secuencia básica para establecer una llamada.....	3
2.	Formato de números.....	6
3.	Red jerárquica básica para la telefonía tradicional.....	7
4.	Red jerárquica con enlaces alternos para la telefonía tradicional.....	9
5.	Central telefónica privada (PBX).....	11
6.	Conmutador digital controlado por la salida.....	13
7.	Configuración de acceso a líneas troncales	16
8.	Arquitectura RDSI.....	21
9.	Red SS7.....	23
10.	Modelo OSI <i>versus</i> TCP/IP.....	32
11.	Protocolos de telefonía SIP en TCP/IP.....	40
12.	Intercambio de mensajes SIP.....	42
13.	Estructura del mensaje SIP de registro.....	43
14.	Estructura del mensaje SIP de invitación.....	45
15.	Estructura del mensaje SIP de intento.....	45
16.	Estructura del mensaje SIP de aceptación.....	47
17.	Estructura del mensaje SIP de despedida.....	47
18.	Movilidad de usuarios.....	57
19.	Red IP estándar.....	60
20.	Calidad de voz según la latencia del sistema.....	69
21.	<i>Buffer</i> de memoria para supresión del <i>Jitter</i>	70

TABLAS

I.	Centrales de conmutación en la red jerárquica.....	8
II.	Plan de marcación típico para una PBX.....	15
III.	Elementos de una red de señalización SS7.....	24
IV.	Rango de direcciones IP locales.....	35
V.	Conmutación de circuitos <i>versus</i> conmutación de paquetes.....	50
VI.	Métodos de acceso.....	51
VII.	Características del dispositivo de usuario en telefonía tradicional y telefonía voip.sip.....	52
VIII.	Direccionamiento IP estándar para ejemplo de red voip.sip.....	61
IX.	Direccionamiento IP avanzado para ejemplo de red voip.sip.....	62
X.	Relacion de ancho de banda y <i>payload</i> por <i>codec</i>	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
bps	Bits por segundo
Kbps	Miles de bits por segundo
N/A	No aplica
%	Porcentaje
Rx	Recepción de datos
Tx	Transmisión de datos
μs	Unidad de tiempo en micro segundos
ms	Unidad de tiempo en mili segundos

GLOSARIO

Bucle analógico	Conexión de la central telefónica con el equipo en las instalaciones de los usuarios que transmite señales analógicas.
Bucle digital	Conexión de la central telefónica con el equipo en las instalaciones del usuario que transmite señales digitales.
<i>Buffer</i>	Dispositivo utilizado para el almacenamiento temporal de información digital.
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> , método de acceso de comunicación mediante la división de código.
<i>Codec</i>	Codificador y decodificador, dispositivo que codifica la información en el extremo transmisor y decodifica la información en el extremo receptor, según un algoritmo seleccionado.
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i> , dispositivo que provee varios servicios para iniciar, encaminar o terminar una comunicación.

CRC	Verificación por redundancia cíclica, es un código para la detección de errores en tramas recibidas durante la transmisión de datos.
Datagrama	Considerado como el mínimo bloque de información en una red de conmutación por datagramas, el cual porta un fragmento de información de un tamaño definido por el protocolo.
DiffServ	Servicios diferenciados, protocolo utilizado para diferenciar los servicios transportados por los paquetes en una red de datos.
Dirección IP	Identificador numérico de 32 bits para un equipo conectado en una red IP.
Dirección MAC	Identificador numérico de 48 bits para la tarjeta de red de un equipo conectado en una red IP.
Encriptación MD5	Algoritmo de reducción criptográfico de 128 bits.
Línea troncal	Enlace que permite transportar señales desde la central telefónica publica al dispositivo final del usuario.

FDMA	<i>Frequency division multiple access</i> , método de acceso de comunicación por división de frecuencia.
<i>Full-duplex</i>	Permite enviar datos en ambas direcciones a la vez (Tx y Rx), durante una transmisión.
G.704	Estándar de la ITU-T para sincronizar tramas.
G.711	Estándar de la ITU-T para la codificación de audio con una velocidad de 64Kbits/s.
G.723.1	Estándar de la ITU-T para la codificación de audio con una velocidad de 5,3 y 6,3 Kbits/s.
G.729	Estándar de la ITU-T para la codificación de audio con una velocidad de 8 Kbits/s.
<i>Gateway</i>	Puerta de enlace predeterminada para los equipos conectados a una red LAN.
H.323	Estándar de la ITU-T que define la forma de proveer sesiones de comunicación sobre la red IP.
Host	Nombre que recibe un equipo conectado a una red de datos que provee y utiliza servicios de ella.

I.430	Estándar de la ITU-T con las recomendaciones para el acceso básico (BRI) en la RDSI.
I.431	Estándar de la ITU-T con las recomendaciones para el acceso primario (PRI) en la RDSI.
IEEE 802.1Q	Norma desarrollada por la IEEE que se utiliza para implementar redes virtuales.
IETF	Grupo de trabajo de ingeniería de internet, es una organización abierta de normalización, que tiene como objetivo contribuir a la ingeniería de internet.
ISDN	Red digital de servicios integrados, red que facilita las conexiones digitales extremo a extremo para proporcionar una amplia gama de servicios.
ISP	Proveedor de servicios de internet, es la empresa que brinda conexiones a internet a sus clientes a través de diferentes tecnologías.
LAN	Red de área local que abarca un área reducida a una casa, un departamento o un edificio.
LCD	Pantalla de cristal líquido, delgada y plana formada por un número de píxeles en color o

monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

**Memoria
*tampon***

Memoria que se caracteriza porque la información en ellas se almacena durante un corto periodo de tiempo.

Q.703

Estándar de la ITU-T que describe las funciones y procedimientos de la transferencia de mensajes por un enlace de datos de señalización.

**Red de telefonía
tradicional
publica**

Término utilizado para toda red que presta funciones de transmisión y conmutación, así como características que están disponibles al público en general, no restringida a un grupo de usuarios determinados.

RFC1918

Documento desarrollado por la IETF que especifica el espacio de dirección IP que una red privada debe utilizar.

RFC3261

Documento desarrollado por la IETF que describe al protocolo de inicio de sesión (SIP) en capas de control de aplicación del protocolo para crear modificar y terminar sesiones con uno o más participantes.

RTB	Red de telefonía básica, transmitir únicamente señales analógicas mediante un modem a velocidades bastante bajas.
SDP	Protocolo de inicio de sesión, el cual describe los parámetros de inicialización de flujos multimedia.
Segmento de red	Sinónimo de una red de área local (LAN).
Sincronización de tramas	Proceso para adquirir, mantener y recuperar la sincronización en una transmisión de información en la capa de enlace.
Sistema embebido	Sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas, ejemplo de ellos son los <i>smartphones</i> y <i>tablets</i> .
<i>Smartphone</i>	Teléfono inteligente, un móvil construido sobre un sistema embebido, con mayor capacidad de almacenar datos y realizar actividades semejantes a las de una minicomputadora y con una mayor conectividad que un teléfono móvil convencional.
SMDR	Detalla las transacciones realizadas por los teléfonos conectados a una central telefónica con otros teléfonos o con los enlaces troncales.

Softphone	Software utilizado para realizar llamadas a otros <i>softphone</i> o teléfonos convencionales usando telefonía de voz sobre IP.
Tablets	Computadora portátil de un mayor tamaño que un <i>smartphone</i> , integrada con una pantalla táctil con la que el usuario interactúa, desarrolladas sobre sistemas embebidos.
TDMA	Método de acceso múltiple por división del tiempo, es una técnica que permite la transmisión de señales digitales, cuya idea consiste en ocupar un canal de transmisión a partir de distintas fuentes.
Trama	Unidad de envío de datos, consiste en una serie sucesiva de bits, organizados de forma cíclica, que transportan información y permiten en el equipo receptor extraer esta información.
UIT-T	Sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT, elabora normas internacionales que actúan como elementos definitorios de la infraestructura mundial de las tecnologías de la información y comunicación.
URI	Identificador de recursos uniforme, es una cadena de caracteres que identifica los recursos de una red de forma unívoca.

V.27

Estándar de la ITU-T que describe las funciones de la transmisión a través de *modem* a 4800 bits/s para circuitos de tipo telefónico.

Voip.sip

Telefonía de voz sobre IP que utiliza el protocolo de inicio de sesión SIP como señalización para iniciar, supervisar y terminar llamadas entre los usuarios.

RESUMEN

El modelo telefónico tradicional se constituye, esencialmente, de dos partes, la primera es la interacción con el usuario la cual incluye todo el intercambio de solicitudes y notificaciones entre el dispositivo final y el sistema telefónico, mientras que la segunda parte contiene la arquitectura de centrales de conmutación de circuitos que establecen, supervisan y terminan las comunicaciones entre los usuarios; gracias a la arquitectura proveída por la red de señalización SS7 y a los protocolos de digitalización de la RDSI, este modelo ha logrado alcanzar una buena disponibilidad y calidad de servicio, sin embargo, aún maneja conmutación de circuitos, por lo tanto, ha heredado varias deficiencias en cuanto a la movilidad de los usuarios tanto de forma geográfica como de dispositivo.

Al utilizar una red de transporte conmutada por paquetes que usa el protocolo IP para asegurar el envío de los paquetes por la red, es posible implementar un servicio de telefonía con la ayuda del protocolo de inicio de sesión SIP para iniciar, supervisar y terminar las llamadas, el cual en esencia no altera la interfaz con el usuario, pero sí cambia completamente la arquitectura propuesta por la telefonía tradicional, dado que esta no es una red de uso exclusivo para la telefonía y debe compartir sus recursos con aplicaciones dedicadas al transporte de datos.

Una comparación entre el modelo de telefonía voip.sip y la telefonía tradicional muestra que, la telefonía voip.sip proporciona una mayor disponibilidad y versatilidad del servicio, esto es posible porque no necesita de un dispositivo de hardware específico para funcionar, porque las direcciones

lógicas están asignadas a los usuarios, por lo tanto, no es relevante el dispositivo que se utilice pues la ubicación está determinada por el URI asignado al usuario, permitiendo una movilidad superior.

A pesar de las ventajas para la disponibilidad y versatilidad que evidencia la telefonía voip.sip, aun no logra superar a la telefonía tradicional respecto de la calidad del servicio, pues la red de transporte IP se utiliza de forma compartida con aplicaciones que requieren transportar todo tipo de datos y esto afecta el tiempo de entrega para los paquetes que contienen una carga útil de voz en el extremo receptor que requiere de un tiempo límite de entrega para ser considerado como válido, dado que es una conversación en tiempo real, esto es algo que no sucede en la telefonía tradicional, pues acá se define una canal a su máxima capacidad para cada conversación una vez establecida.

Por lo tanto, una propuesta para la mejora de la calidad del servicio de la telefonía voip.sip incluye aplicar una configuración de red avanzada como, redes virtuales, clasificación de servicios con el protocolo DiffServ, equipo de administración de ancho de banda por aplicación y mejores codificadores para la voz que consuma un menor ancho de banda, así como el uso de *buffers* de control de *Jitter* para mantener controlado el retrasos en los paquetes.

OBJETIVOS

General

Presentar una propuesta de mejora técnica para las llamadas telefónicas de voz sobre IP que utilizan el protocolo SIP como señalización.

Específicos

1. Conocer los fundamentos de la red de telefonía tradicional.
2. Conocer los fundamentos de la red de telefonía de voz sobre IP que utiliza el protocolo SIP como señalización (voip.sip).
3. Presentar una comparación desde el punto de vista técnico que existe entre la telefonía tradicional y la telefonía voip.sip.
4. Dar a conocer las mejoras que pueden ser implementadas para mejorar el servicio de telefonía voip.sip.

INTRODUCCION

Como resultado de las múltiples mejoras que han sufrido los primeros sistemas de comunicación de voz, el modelo de telefonía tradicional actual se basa en los protocolos de la red de señalización SS7, y los protocolos de acceso de la RDSI como principales herramientas para establecer canales de comunicación entre los usuarios del sistema, hasta hace poco el modelo tradicional era la única alternativa para las comunicaciones de voz; sin embargo, el desarrollo de la red IP que utiliza la pila de protocolos TCP/IP abrió la brecha para el desarrollo de nuevas tecnologías que establecen canales de comunicación de voz, entre estas se encuentra el protocolo de señalización SIP, el cual se perfila como el estándar para las comunicaciones de voz sobre la red IP.

Una comparación de carácter técnico entre la telefonía tradicional y la voip.sip, demuestran diferencias favorables para el modelo de telefonía IP respecto a la versatilidad del servicio en aspectos como: infraestructura, dispositivos, métodos de contacto e integración con otros servicios, razones por las que esta tecnología es una buena opción para establecer llamadas telefónicas, dado que la red de transporte IP de forma nativa no ha sido diseñada para soportar aplicaciones en tiempo real, es posible que algunas llamadas presenten una baja calidad de voz y no sea posible mantener una comunicación de forma estable, por lo tanto, se considera importante definir métodos que garanticen una mejor calidad en el servicio de llamadas telefónicas sobre la red IP que utilicen el protocolo SIP como señalización.

La presente investigación se enfoca en hacer una propuesta de carácter técnico que mejore la calidad de una llamada telefónica sobre la red IP cuando se utiliza el protocolo de señalización SIP en un ambiente local, la estructura del documento se sigue de la siguiente manera:

- Capítulo 1: se exponen los conceptos fundamentales de la telefonía tradicional que demuestran las mejoras aplicadas al sistema de comunicación hasta los componentes que utiliza actualmente.
- Capítulo 2: descripción de los conceptos fundamentales de la telefonía VoIP y del protocolo SIP, de manera que puedan conocerse los componentes necesarios para su funcionamiento.
- Capítulo 3: se aborda una comparativa entre ambos modelos telefónicos de manera que puedan obtenerse criterios para la seleccionar una tecnología específica.
- Capítulo 4: planteamiento de una propuesta de carácter técnico para implementaciones del modelo voip.sip, de forma que pueda ser tomada en cuenta para atender las deficiencias que conlleva utilizar una red de transporte que no ha sido diseñada para aplicaciones en tiempo real, como la red IP.

1. FUNDAMENTOS DE TELEFONÍA TRADICIONAL

La telefonía tradicional se define como el sistema que contiene la infraestructura y los protocolos para transportar información de voz de forma digital o analógica, que mantiene un esquema de redes basado en conmutación de circuitos para reservar, establecer y mantener el canal de comunicación.

Este sistema al inicio estaba constituido en su totalidad por equipos del tipo mecánico-eléctrico, que con el tiempo fueron remplazados por equipos electrónicos que permitían al sistema analizar las solicitudes, tomar decisiones y realizar la conmutación de los circuitos físicos de manera automática, aun con señales del tipo analógico durante todo el trayecto de la comunicación.

A medida que la cantidad de usuarios aumentaba, las técnicas analógicas de conmutación y transporte utilizadas por los equipos evidenciaban dificultades para proporcionar el servicio, por lo que la digitalización en esta etapa resultó en una optimización del servicio que aún mantenía el modelo jerárquico y el bucle local (red de acceso) de los usuarios con tecnología analógica.

Digitalizar todo el trayecto de comunicación (de usuario a usuario), dio origen a la red digital de servicios integrados (RDSI), que era una red totalmente digital, pero que excluía a todas las redes que no cumplieran con los requisitos de interoperabilidad necesarios, por lo que la UIT-T propuso el modelo de señalización SS7 que dejaba atrás el modelo jerárquico inicial, pero mantiene el principio de conmutación de circuitos, dando como resultado una nueva forma de señalizar la información en la red telefónica tradicional.

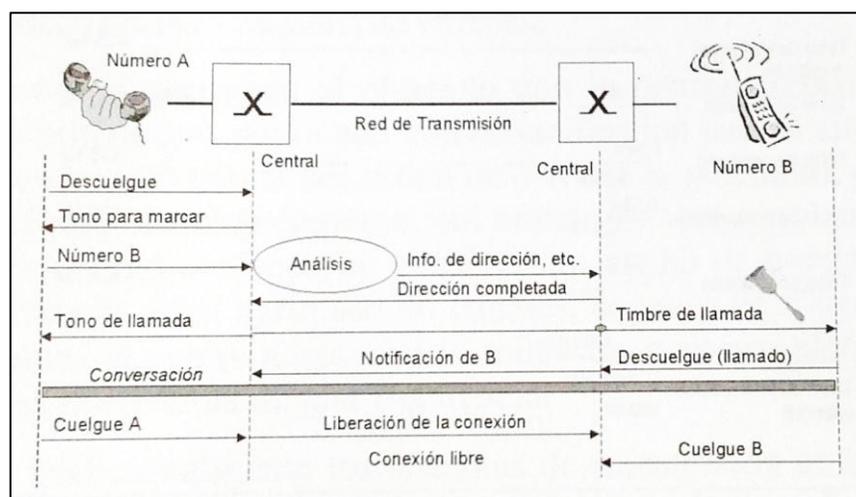
1.1. Secuencia básica de una llamada telefónica

El intercambio de mensajes básicos entre un usuario A que desea comunicarse con un usuario B a través del sistema telefónico tradicional (ver figura 1), se describe a continuación:

- El usuario A descuelga su terminal telefónico, acción a la que el sistema telefónico responde enviándole un tono audible invitándolo a realizar la marcación.
- El usuario A realiza la marcación en su terminal telefónico y este la reenvía para ser analizada por el sistema telefónico y determinar el tipo de solicitud.
- Una vez que el sistema telefónico determina el tipo de solicitud, en este caso establecer una llamada telefónica con el usuario B, se procede de la siguiente manera:
 - Primero: determinar la ruta que lo llevará al terminal telefónico del usuario B.
 - Segundo: verificar con qué recursos cuenta para establecer el canal de comunicación.
- Si el sistema telefónico no cuenta con los recursos para establecer el canal por el cual transmitirá la información, o si no logra determinar la ruta por la cual encontrar el terminal telefónico del usuario B, este notifica al usuario A por medio de un tono audible que indica congestión.
- Si el sistema telefónico cuenta con los recursos y ha logrado determinar la ruta para encontrar el terminal telefónico del usuario B, este ejecuta el siguiente procedimiento:

- Reserva el canal por el cual transmitirá la información.
 - Notifica al usuario B con la indicación de tono de timbrado en su terminal telefónico.
 - Notifica al usuario A por medio de un tono audible para indicarle que el terminal telefónico del usuario B está timbrando y que está a la espera de la respuesta.
 - Si el usuario B está ocupado o rechaza la llamada, el sistema telefónico notificará al usuario A con tono audible de ocupado.
- Si el usuario B acepta la llamada, el sistema establece la transmisión de voz de ambos terminales telefónicos a través de los recursos previamente reservados.
 - Al momento de terminar la comunicación, no importando quien hace la solicitud, el sistema libera los recursos que utilizó y los deja disponibles para nuevas conexiones

Figura 1. **Secuencia básica para establecer una llamada**



Fuente: HUIDOBRO MOYA, Jose Manuel. *Sistemas de telefonía*. p. 9

1.2. Generalidades sobre telefonía

El sistema de telefonía tradicional se compone de los siguientes elementos:

- Terminal telefónico: equipo que utiliza el usuario para recibir el servicio y comunicarse con el sistema telefónico.
- Bucle local: considerado la red de acceso para los usuarios, pues esta le proporciona el medio y la tecnología para que los dispositivos finales puedan conectarse al sistema telefónico.
- Red de conmutación: se compone de centrales de conmutación interconectadas entre sí, cuyo objetivo es conmutar sus circuitos físicos de forma automática siguiendo las instrucciones del enrutamiento para conectar los terminales telefónicos, según el requerimiento de los usuarios.
- Señalización y sincronía: establece las reglas para el enrutamiento, la temporización y la administración de recursos para un correcto funcionamiento de todos los elementos del sistema telefónico.
- Transmisión: enlaces físicos que conectan a las centrales de conmutación y que son conocidos como enlaces troncales.

1.2.1. Estructura fundamental de la red telefónica

El sistema de telefonía se analizará desde dos puntos de vista, la segmentación lógica que proporciona una identificación única para todos los terminales que forman parte del sistema, y la segmentación física que proporcionará los métodos para encaminar la información que se basa en el enrutamiento jerárquico y el enrutamiento alterno o por desborde.

1.2.1.1. Segmentación lógica de la red telefónica

Al hablar de un sistema como el de la telefonía tradicional, es necesario considerar una gran cantidad de terminales telefónicos; por lo que, una pregunta importante es ¿cómo hace el sistema para localizarlos a todos?, la respuesta es la utilización de un sistema de numeración que permita hacer una segmentación con base en su ubicación geográfica, lo cual representará una identificación única dentro del sistema para cada terminal.

Para un sistema local que cubre una determinada área geográfica con una capacidad de hasta 10 000 dispositivos, para lograr identificarlos de manera única se trabaja con 4 dígitos como mínimo, lo cual permitirá utilizar un rango desde el 0000 hasta el 9999; según recomendación de la UIT-T no se deben utilizar números mayores a 8 dígitos para definir a los miembros de un sistema local, pues estos constituyen el sistema de numeración para la comunicación de dos usuarios en la misma área geográfica.

Se considera el caso en el que se han instalado múltiples sistemas locales en una determinada ubicación geográfica (generalmente delimitada por un país), para satisfacer la demanda de mayor densidad de tráfico y mayor cantidad de usuarios y para mantener una identificación única en esta nueva ubicación geográfica; se crea una etiqueta adicional que se conoce como código de área, que no es más que la identificación para cada sistema local y que se debe anteponer a la numeración local

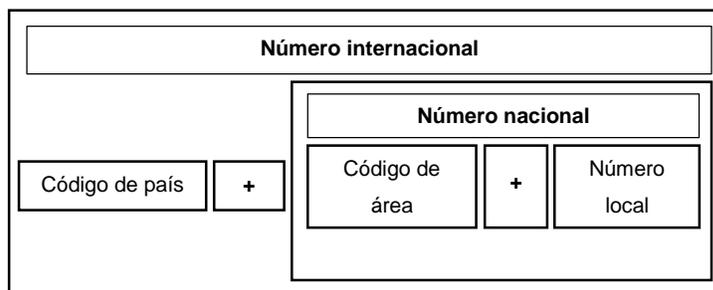
A cada área le corresponde un número único de identificación dentro del país, este número, por lo general, se constituye de 1 a 3 dígitos dependiendo de

la densidad de tráfico del área en cuestión, para no exceder la cantidad de dígitos recomendados se toma como regla lo siguiente:

- A mayor cantidad de usuarios, mayor cantidad de dígitos para el número local y menor cantidad de dígitos en el código de área.
- A menor cantidad de usuarios, menor la cantidad dígitos para el número local y mayor cantidad de dígitos en el código de área.

Para la región internacional que contiene a los países se utiliza otro código, el cual define de manera única a cada país, en la figura 2 se resume la información obtenida para la numeración utilizada por el sistema telefónico tradicional.

Figura 2. **Formato de números**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Word 2013.

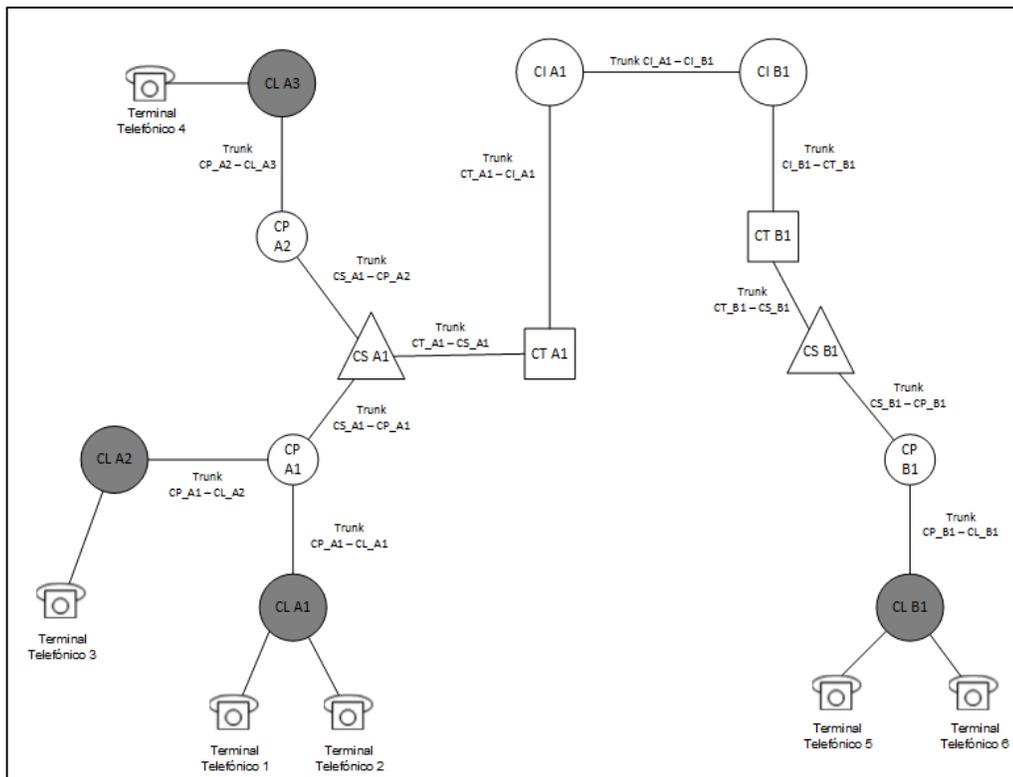
1.2.1.2. **Segmentación física de la red telefónica**

Se basa en un modelo jerárquico de los sistemas locales que se justifica por la capacidad limitada de las centrales de conmutación, que nominalmente pueden soportar hasta 10 000 usuarios, por lo que es necesario instalar múltiples

sistemas locales y un método capaz de enrutar las solicitudes dentro de esta estructura.

Este modelo de red utiliza una configuración en estrella para conectar a los terminales telefónicos, pues una configuración en malla sería imposible debido a la infinidad de conexiones físicas que serían necesarias entre ellos y representaría un desperdicio de recursos debido al tiempo promedio de utilización de cada enlace, en la figura 3 se describe el ejemplo de una red estructurada jerárquicamente.

Figura 3. Red jerárquica básica para la telefonía tradicional



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2013.

En el modelo de enrutamiento jerárquico, cada central de conmutación local da servicio a una determinada cantidad de terminales telefónicos, lo cual implica que, cuando un usuario requiere establecer una comunicación con usuarios que están en una diferente central de conmutación local, la central local que recibe la solicitud debe escalarla a su central jerárquicamente superior para determinar la ruta correcta hacia el usuario solicitado, en la tabla I se describen los diferentes tipos de central de conmutación utilizadas por la red jerárquica.

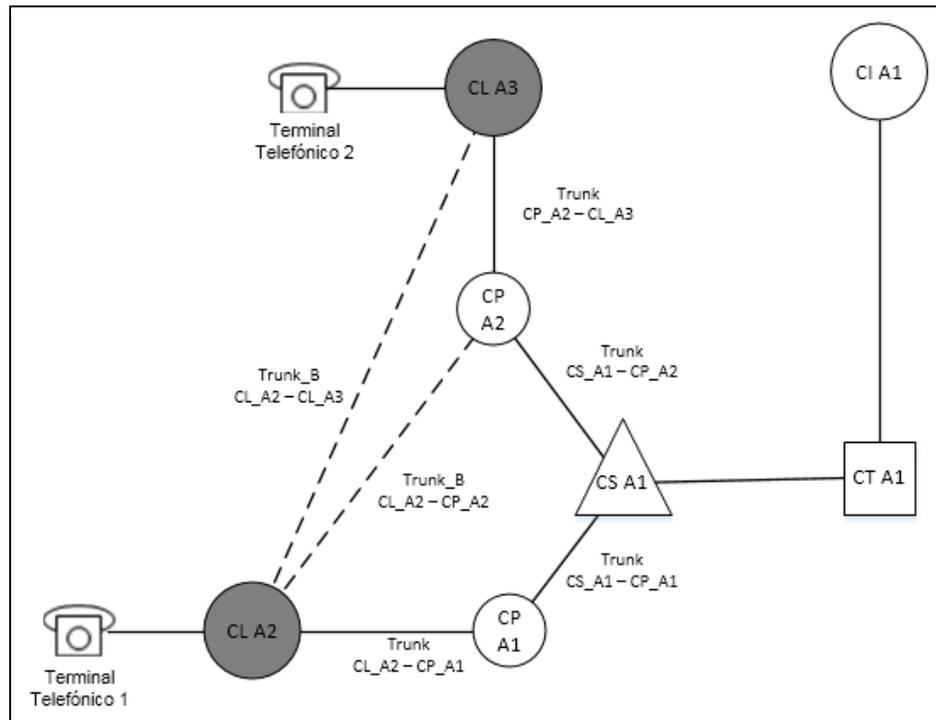
Tabla I. **Centrales de conmutación en la red jerárquica**

TIPO DE CENTRAL	REPRESENTACION
Central local (CL): central que conecta directamente a los usuarios a través del bucle final.	
Central primaria (CP): se encarga de atender las conexiones entre centrales locales.	
Central secundaria (CS): se encarga de atender las conexiones entre las diferentes áreas.	
Central terciaria (CT): se encarga de manejar las conexiones entre las centrales secundarias.	
Central internacional (CI): se encarga del tráfico entre las regiones geográficas delimitadas por países	

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Word 2013.

En la figura 4 se describe el modelo de enrutamiento alternativo o por desborde, el cual es la solución utilizada cuando la cantidad de conexiones que se producen de forma simultánea en las centrales aumentan de manera que las rutas directas establecidas por la red jerárquica se saturan o simplemente como una función de contingencia, estos enlaces alternos se establecen entre las centrales que evidencien mayor necesidad, dado que estos enlaces adicionales obligan a la red telefónica tradicional a definir prioridades para cada enlace adicional en la central de conmutación.

Figura 4. **Red jerárquica con enlace alternos para la telefonía tradicional**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2013.

1.2.2. **Redes conmutadas por circuitos**

La idea de la red telefónica tradicional es compartir los circuitos físicos entre los usuarios en diferentes espacios de tiempo con toda la capacidad de la que disponga dicho circuito, mientras esté establecida una comunicación, el circuito o troncal permanecerá reservada hasta que finalice la comunicación, establecer este circuito requiere cierto nivel de inteligencia por parte de los equipos en la red, pues deben lograr enrutar las solicitudes de forma automática y siguiendo los principios de jerarquía y desborde, estos equipos son conocidos como centrales de conmutación o telefónicas.

1.2.2.1. Central de conmutación pública

Las centrales de conmutación se dividen en públicas y privadas siendo las primeras las que están en la red jerárquica de la red de telefonía tradicional pública, mientras que las centrales de conmutación privadas son equipos que funcionan en las instalaciones de los usuarios y permiten diversas funciones locales.

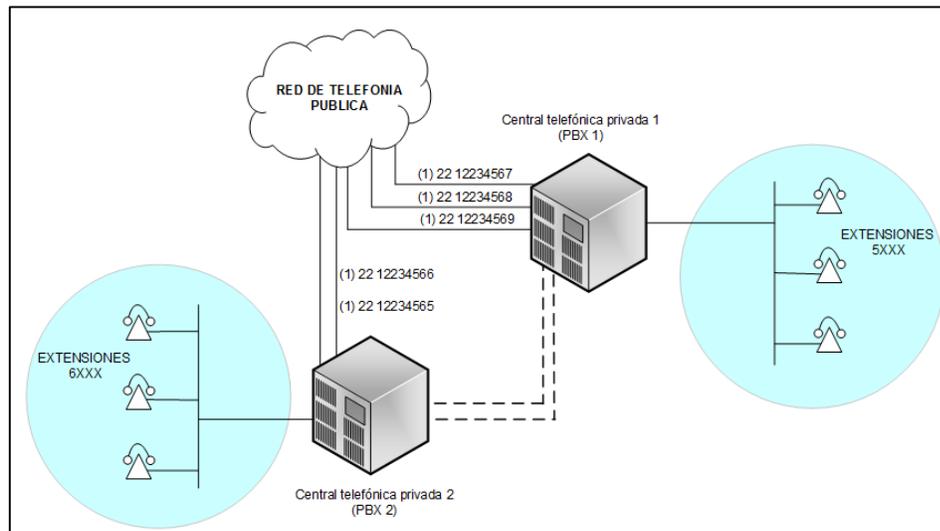
Se consideran a las centrales públicas y privadas semejantes en su propósito básico, arquitectura, funciones elementales y servicios que prestan a los usuarios, pero diferentes en los siguientes aspectos:

- Las centrales de conmutación públicas son diseñadas para manejar gran cantidad de usuarios y enlaces troncales, lo que resulta en una capacidad muy superior en la unidad de procesamiento y la unidad de conmutación
- Las centrales de conmutación pública se componen de elementos de alta velocidad para los enlaces entre las centrales, y permitir una mayor capacidad y estabilidad en el transporte de información

1.3. Central de conmutación privada

El propósito principal de una central de conmutación privada (PBX) es proporcionar comunicación entre usuarios (o extensiones) y grupo de troncales, estos equipos poseen una gran versatilidad en cuanto a su configuración, pues los fabricantes han optado por construirlas de manera que los usuarios o personal técnico puedan acomodar la programación de una forma personalizada a sus necesidades.

Figura 5. Central telefónica privada (PBX)



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2013.

En la figura 5 hay dos centrales de conmutación privadas con sus respectivas extensiones y enlaces troncales hacia la red pública, así como una conexión entre ellas a través de otras troncales de uso interno, de esta figura se concluye:

- Las centrales privadas permiten realizar un plan de numeración independiente de la numeración que se realiza en la red pública, siendo esta visible únicamente para ellas, el cual utilizan para identificar las extensiones y permitir la comunicación entre ellas.
- Cada central telefónica debe manejar diferentes códigos que le indiquen qué acciones va a realizar, por ejemplo, si una extensión desea acceder a las troncales públicas o a las troncales locales.
- Para la red pública, cada troncal es como un usuario normal que tiene una identificación única definido según su posición geográfica dentro del plan

de numeración público, por lo que el trabajo de la PBX es conmutar el tráfico desde la red pública hacia las extensiones y viceversa

- Así, cuando una extensión desea tomar un enlace troncal y salir a la red pública, esta será identificada públicamente con el número asignado a la línea troncal

1.3.1. Arquitectura de una central de conmutación privada

En la actualidad, todas las centrales de conmutación son del tipo electrónico y de carácter digital, por lo que al hablar de una arquitectura para estos equipos se debe hablar de un procesador, una memoria, un conmutador temporal y periféricos de entrada y salida que garanticen la interface con otros dispositivos.

1.3.1.1. Unidad de procesamiento

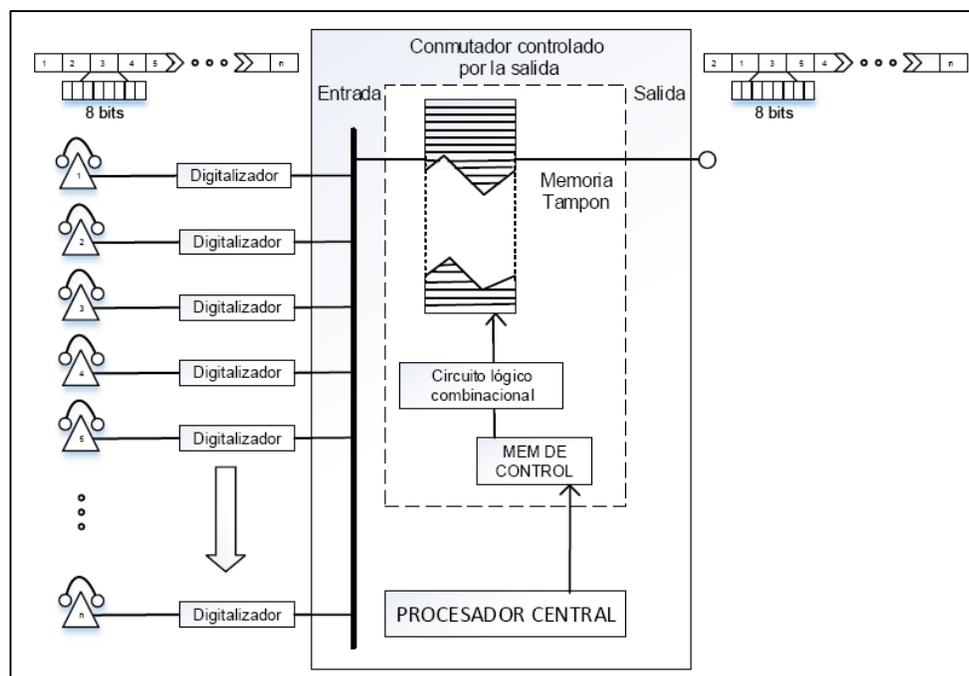
Como todo sistema electrónico, la central telefónica debe tener una unidad de procesamiento que permita ejecutar las instrucciones que el software de la PBX requiera, la capacidad de procesamiento requerido para estas unidades está definida por el dimensionamiento y la cantidad de conexiones simultáneas.

1.3.1.2. Unidad de conmutación

Esta es la etapa encargada de establecer el canal de comunicación dentro de la PBX hacia otra extensión o al enlace troncal según la solicitud del usuario, la matriz de conmutación digital utiliza conmutadores temporales que recolectan todas las muestras (de 125 μ s) en la entrada para luego intercambiara de posición en la etapa de salida según sea requerido.

El proceso de conmutación para la central telefónica digital se ve completado por medio de la utilización de etapas de conmutación espaciales (tipo S), que permiten a los buses de datos que contienen las muestras digitales de la señal de voz tomar diferentes caminos hacia distintos conmutadores temporales o conmutadores espaciales según sea el caso, esto proporciona a la unidad de conmutación una etapa de distribución que permite un nivel de protección contra el bloqueo de las líneas en caso de falla o saturación.

Figura 6. **Conmutador digital controlado por la salida**



Fuente: elaboración propia, basada en: *conmutación telefónica*. Departamento de teoría de la señal y comunicaciones, empleando programa Microsoft Visio 2013.

Un conmutador temporal (tipo T) controlado por la salida que utiliza muestras de 8 bits que almacena en la memoria tampón de forma secuencial, comenzando de la muestra 1 hasta la n-esima muestra (ver figura 6), luego con

base en las instrucciones proporcionadas por el procesador central y la memoria de control se ejecuta la lectura de estas posiciones de memoria que determinarán las posiciones para las salidas.

1.3.1.3. Periféricos I/O

Son todos los elementos con los cuales el sistema se puede comunicar con el exterior, para el caso de una central de conmutación se consideran los siguientes elementos:

- Teléfono: dispositivo utilizado por los usuarios para hacer o recibir llamadas, el cual es identificado de manera única en la PBX con un número de extensión.
- Enlaces troncales: son considerados los accesos hacia el exterior para las centrales donde cada enlace representa a una troncal o circuito de conexión, que para la tecnología analógica un enlace físico contiene una troncal y para la tecnología digital un enlace físico puede contener muchas troncales.
- Otros elementos: debido al carácter privado que tiene la PBX, se han adicionado otros elementos finales como equipo de voceo, relés, entrada para música en espera.

1.3.2. Funciones elementales

Los fabricantes de las centrales de conmutación construyen los equipos con una gran versatilidad en cuanto a sus funciones, por lo que no existe un estándar definido, pero de manera común manejan ciertas características que resultan indispensables en la operación de los equipos, pues en algunos casos es

precisamente debido a estas funciones básicas por las que es implementada una central telefónica privada.

1.3.2.1. Análisis de dígitos

En la tabla II se describe la definición típica de un plan de numeración para una PBX, configuración que le indica al equipo cómo deben ser interpretados los dígitos recibidos, por ejemplo, cuando recibe el dígito 2, con base en esta tabla, la central busca una extensión de 3 dígitos, por lo que queda a la espera de 2 dígitos más para iniciar la acción solicitada, de esto puede resultar lo siguiente:

- La central tiene preconfigurado un tiempo prudencial para esperar los dígitos restantes, si el usuario tarda más tiempo del previsto para completar la marcación, la central terminará la solicitud.
- Si se completa la marcación, puede suceder uno de los casos siguientes:
 - La combinación de números no corresponden a una extensión válida en el sistema, se envía tono de congestión y la solicitud es terminada.
 - Si el usuario completa la marcación, y es una extensión válida dentro de la base de datos, la central procede a iniciar la llamada.

Tabla II. **Plan de marcación típico para una PBX**

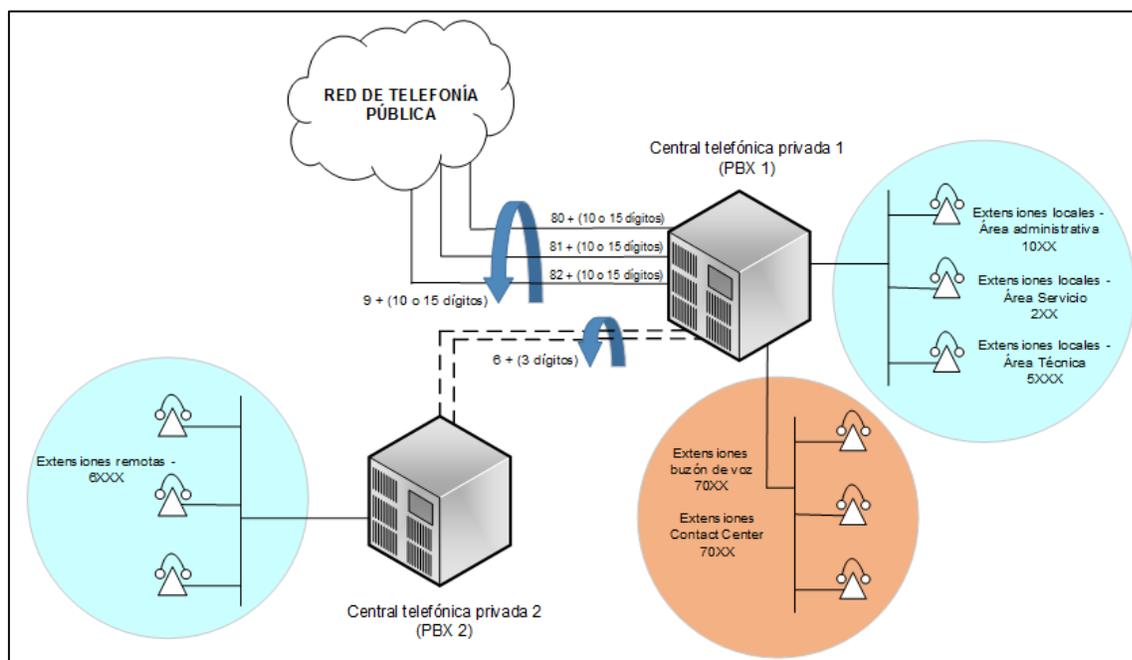
DÍGITO PRINCIPAL	DÍGITO SECUNDARIO	CANTIDAD DE DÍGITOS	RANGO DE NUMERACIÓN	FUNCIÓN
1	0	3	100 - 109	Extensiones locales - Área administrativa
2	-	3	200 - 299	Extensiones locales - Área servicio
5	-	4	5000 - 5999	Extensiones locales - Área técnica
6	-	4	6000 - 6999	Extensiones PBX remota

Continuación de tabla II.

7	0	4	7000 - 7099	buzón de voz
7	1	4	7100 - 7199	Contact center
8	80	2	80	Salida por trocales alternas
8	81	2	81	Salida por trocales alternas
8	82	2	82	Salida por trocales alternas
9	-	1	9	Salida por grupo de troncales

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Excel 2013.

Figura 7. **Configuración de acceso a líneas troncales**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2013.

En la figura 7 se describe de forma gráfica estas configuraciones, donde para hacer llamadas a la red pública, se necesita de códigos para tomar el acceso a los enlaces troncales, en este ejemplo se utiliza el dígito 9 como una función

automática que permitirá tomar una línea troncal disponible para hacer la llamada, de esto se esperan los siguientes resultados:

- Si la central no encuentra una línea troncal disponible (que viene a ser lo mismo que no contar con recursos) para realizar la llamada, esta enviará tono de congestión, pues las líneas están ocupadas o desconectadas.
- Si la central encuentra una línea troncal disponible, esta hace la solicitud a la central pública que presta el servicio y posteriormente reserva ese canal para establecer la llamada, quedando solamente a la espera del resto de la numeración para enviarla a la red pública.

1.3.2.2. Facturación (SMDR)

La central representa un punto común para las extensiones que desean establecer una comunicación interna o externa hacia sus enlaces troncales, por lo que lleva un registro del detalle estadístico de las llamadas que se almacenan en memoria, como una secuencia de caracteres que posteriormente es enviada a programas de facturación que se encargan del análisis estadístico, estos registros, generalmente contienen lo siguiente:

- Tipo de llamada: externa entrante, externa saliente, interna entrante, interna saliente.
- Número de enlace troncal utilizado en llamadas externas entrantes o salientes.
- Información de número que realizó la llamada.
- Fecha y hora del momento en que inició la llamada.
- Fecha y hora del momento en que terminó la llamada.
- Código de autorización o de cuenta utilizados para realizar la llamada (solo en llamada externas).

1.3.3. Servicios

Las centrales de conmutación privada pueden prestar multitud de servicios que no tiene una forma estandarizada, aunque normalmente se encuentran disponibles en todos los equipos las siguientes:

- Desvíos de llamada: permite a los usuarios modificar el destino de las llamadas entrantes, utilizando un código especial de función definido en el plan de marcación, dependiendo de las siguientes opciones:
 - Desvío por ocupado: cuando el usuario tiene una llamada en curso, si entra una segunda llamada esta será redirigida a otro destino.
 - Desvío por no contestación: cuando el usuario no responde la llamada entrante después de cierto tiempo, esta será redirigida a otro destino.
 - Desvío total: cuando el usuario desea redirigir la llamada de forma inmediata a otro destino.
- Captura de llamada: permite a grupos de extensiones tomar llamadas que suenan en otras extensiones pertenecientes al mismo grupo con base en un código especial de función definido en el plan de marcación.
- Llamada en espera: permite a los usuarios dejar en espera las llamadas que recibe, utilizando un botón en el teléfono.
- Traslado: permite a los usuarios enviar la llamada a otros destinos internos o externos utilizando un botón en el dispositivo o un código especial de función definido en el plan de marcación
- Conferencia: permite a los usuarios establecer llamadas telefónicas con múltiples usuarios (3, 4, 8, 16), esto va depender de las capacidades de

la central, utilizando un botón en el dispositivo o un código especial de función definido en el plan de marcación.

- Remarcar: permite volver a marcar el último número utilizado para realizar una llamada.
- Central multimodo: permite una reasignación de los enlaces troncales entrantes a destinos diferentes.

1.4. Red digital de servicios integrados

Esta red propone sustituir el bucle local analógico del usuario con un bucle digital, modelo que tiene las siguientes características:

- Acceso a la red a través de canales digitales: produce conexiones completamente digitales desde el punto origen hasta el punto destino dentro del sistema de telefonía.
- Una velocidad de acceso básica de 64 Kbps para cada canal de comunicación asignado, que además permite la multiplexación de n-canales en un mismo enlace físico.
- Utilización de protocolos de señalización avanzados que permiten el intercambio de mayor información entre las centrales de conmutación, así como un nivel extra de seguridad al hacer que la señalización viaje por un canal distinto al de voz.

En la figura 8 se presenta el modelo propuesto por la UIT-T para la RDSI, modelo que puede analizarse desde los puntos de referencia para las interfaces y equipos conectados a la red, donde cada punto indica lo siguiente:

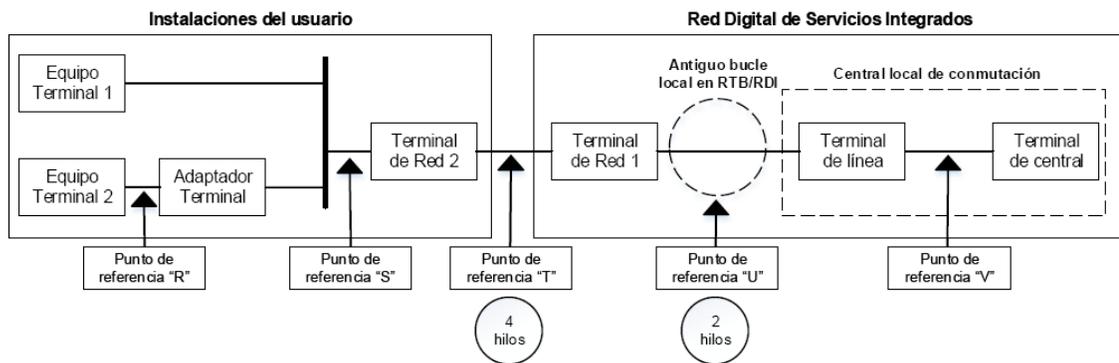
- Punto de referencia S: es el punto de conexión donde el equipo terminal 1 (todo equipo que de forma nativa es compatible la RDSI) se conectan,

por ejemplo, teléfonos digitales, terminales de voz y datos integrados, adaptadores o convertidores RDSI.

- Punto de referencia R: es el punto de conexión para el equipo terminal 2 (que son los equipos no compatibles con la RDSI), como por ejemplo, teléfonos analógicos, y que, por tanto necesitan de un equipo adaptador compatible con RDSI para lograr conectarse con la red.
- Punto de referencia T: es considerado como el límite entre el usuario y el proveedor del servicio de la red pública digital, en este punto la conexión se realiza a través de 4 hilos, uno para la transmisión (Tx) y otro para recepción (Rx). Normalmente acá el terminal de red 2 es una central de conmutación digital privada que tiene compatibilidad con RDSI, la cual proporcionará el punto S a los usuarios y el punto T al proveedor.
- Punto de referencia U: físicamente es el bucle local que los usuarios utilizaban en la red telefónica básica (RTB) para comunicarse con el sistema, el cual está formado por 2 hilos. Normalmente acá el terminal de red 1 es conocido como CPE (*Customer Premises Equipment*), que tiene la tarea de hacer la conversión de 2 hilos a 4 hilos, realiza el acceso a la RDSI utilizando métodos de acceso por división de tiempo (TDMA), frecuencia (FDMA) o código (CDMA), además del control y supervisión de errores en las transmisiones.
- Punto de referencia V: representa el límite entre los equipos de transmisión y de conmutación de la red digital de servicios integrados, donde:
 - Terminal de línea: puede ser considerado como el complemento al terminal de red 1 para la sincronización y control de la transmisión de la información, pero situado en la central de conmutación local.

- Terminal de central: representa al equipo de conmutación, que procesa las señales transmitidas por los usuarios, controla la activación y desactivación de los canales de comunicación.

Figura 8. **Arquitectura RDSI**



Fuente: MILLER TEJEDOR, Ramón Jesus. *RDSI red digital de servicios integrados*. p. 53

1.4.1. Red de acceso

Se ubica entre el punto de referencia S y el punto de referencia T, la UIT-T en su recomendación I.430 e I.431 define las siguientes opciones para utilizar la red de acceso en la RDSI:

- Acceso básico: está constituido por dos canales *full-duplex* para transmisión de voz o datos (canal B de 64 Kbps), y uno *full-duplex* para la señalización exclusivamente para datos (canal D de 16 Kbps), que tiene una velocidad total de 192 Kbps, este acceso es utilizado para conectar dispositivos finales compatibles con la RDSI.
- Acceso primario: está constituido por 30 canales *full-duplex* para transmisión de voz o datos (canal B de 64 kbps), y uno *full-duplex* para la

señalización exclusivamente para datos (canal D de 64Kbps), que en conjunto tiene una velocidad de 2048 Kb/s, para utilizar este acceso, normalmente se necesita de una central privada de conmutación digital para hacer la distribución¹.

1.5. Sistema de señalización por canal común número 7

La RDSI fue concebida para manejar únicamente tecnología digital, por lo que la tecnología analógica no estaba contemplada y los usuarios debían migrar al bucle digital para ser parte de esta red, además del hecho que la única manera de enrutar una llamada era usando un formato de numeración estándar y para el caso de los números gratuitos 0800, por ejemplo, no era posible enrutar la llamada, pues no pertenecían a una área geográfica definida. La UIT-T definió el estándar conocido como sistema de señalización por canal común número 7 (SS7), el cual satisfacía las necesidades de integración con otras redes y servicios.

1.5.1. Estructura de la red de señalización SS7

El estándar SS7 propone una nueva forma de transferir la información de señalización entre iguales o diferentes tipos de redes, que para el caso de la red telefónica que se componía de múltiples centrales de conmutación, con base en una estructura jerárquica y un plan de marcación estructurado geográficamente, propone lo siguiente:

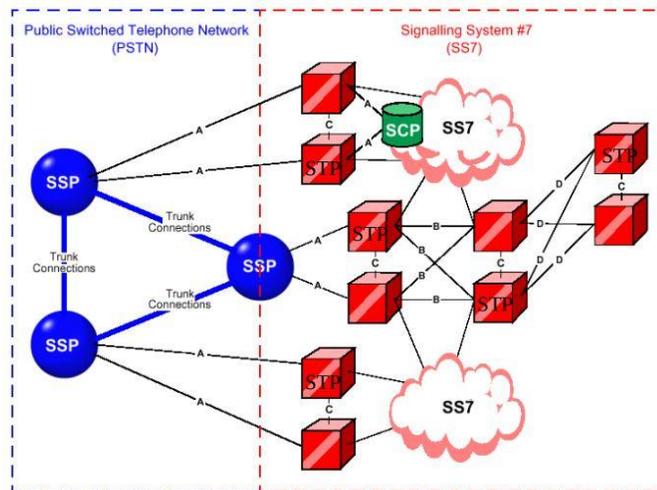
- Adicionar una red específicamente diseñada para atender solicitudes de señalización.

¹ Sector de la normalización de las telecomunicaciones de la UIT, *Especificación de la capa 1 de la interfaz usuario-red a velocidad primaria*. p. 43

- Definir un protocolo que se encargue de las leyes que regirán esta nueva red de señalización.
- Implementar la tecnología apropiada en los nodos extremos de la red anterior para proporcionar la conversión entre protocolos.

Por lo tanto, la estructura y los elementos que integran la red adicional se refieren a los que se ven involucrados directamente con el protocolo de señalización SS7 y no a la red de acceso de los usuarios, que para el caso de la red telefónica serían el bucle analógico de la RTB o el bucle digital de la RDSI, en la figura 9 se observa la topología de red de señalización SS7.

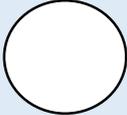
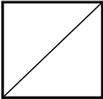
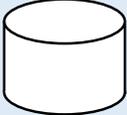
Figura 9. Red SS7



Fuente: VANERIO, Juan. *Sistema de señalización #7*. p. 17

En la tabla III está el detalle de los tipos de nodos y su representación gráfica para el protocolo de señalización SS7, se puede resaltar que cada SSP tiene asignado un código de punto de señalización (CPS), el cual es utilizado para identificar el SSP de origen y el SSP de destino.

Tabla III. Elementos de una red de señalización SS7

TIPO NODO	REPRESENTACIÓN
Signaling Switching Point (SSP): se encarga de generar los mensajes del protocolo SS7, por lo que este elemento puede ser una central de conmutación con capacidad para manejar el protocolo de señalización SS7	
Signal Transfer Point (STP): este elemento de la red no genera ningún tipo de mensaje, está dedicado únicamente a la conversión y transferencia de los mensajes de los SSP.	
Signal Control Point (SCP): considerado como una base de datos para el sistema, la cual contiene información relativa a rutas entre los SSP, así como conversión de números de servicio como 0800.	

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft office Word 2013.

1.5.2. Protocolo de señalización SS7

Contempla las reglas aplicables a esta nueva red y a los elementos que la integran, así como los servicios que puede proporcionar, este protocolo es analizado en capas según el servicio específico que necesite, estas capas son conocidas como subsistema de transferencia de mensajes (*MTP, Message Transfer Part*), para el caso de capa física conocida en SS7 como *MTP1* se utiliza el mismo estándar definido para el acceso primario según la recomendación G.704 de la UIT-T con una velocidad básica de 64 Kbits/s, mientras que para redes analógicas se utilizan velocidades de 4,8 Kbits/s definidas en la recomendación V.27 de la UIT-T.

1.5.2.1. Capa de enlace de datos MTP2

Según la UIT-T en su recomendación Q.703 la capa de enlace de datos debe cumplir con delimitación de las unidades de señalización, alineación de las

unidades de señalización, detección de errores, corrección de errores, alineación inicial, supervisión de errores en el enlace de señalización y control de flujo, esto es posible debido a 3 tipos de unidad de señalización que son:

- Unidad de señalización de mensaje (MSU): portan el control de la llamada, solicitudes y respuestas de la base de datos, manejo de red e información relacionada al mantenimiento de la red en el campo de información de señalización (SIF).
- Unidad de señalización del estado del enlace (LSSU): constan de uno o dos octetos con información referente al estado del enlace entre los puntos de señalización en el campo de estatus.
- Unidad de señalización de relleno (FISU): se envía a través del enlace, siempre que no estén presentes los MSU o LSSU, debido a la comprobación de CRC que realizan los puntos de señalización, la calidad del enlace está constantemente en monitoreo.

Además de la información básica relacionada a funciones de capa 2, las tramas contienen el octeto de información de servicio (SIO), que tiene especial importancia pues es utilizado en los MSU para indicar el servicio requerido de SS7, los valores que puede tomar son los siguientes:

- Mensaje para manejo de señalización de red (SNM), SIO=0
- Mensaje de mantenimiento regular (MTN), SIO=1
- Mensaje de mantenimiento especial (MTNS), SIO=2
- Control de conexión de señalización (SCCP), SIO=3
- Usuario telefónico (TUP), SIO=4
- Usuario de ISDN (ISUP), SIO=5
- Datos de usuario, mensajes relacionados a llamada y circuito, SIO=6
- Datos de usuario, de registro y cancelación, SIO=7

1.5.2.2. Capa de red MTP3

El campo de información de señalización (SIF) de la trama de capa 2 contiene la información de señalización de capa 3, la cual contribuye con la siguiente información:

- Código del punto de destino (DPC): tiene la función de identificar al punto de señalización (SP) al que va destinado el mensaje.
- Código del punto de origen (OPC): tiene la función de identificar el punto de señalización (SP) emisor del mensaje.
- Código del enlace de señalización (SLS): tiene la función de indicar sobre qué enlace se enviará la información.

Los códigos de punto de destino (DPC) y de origen (OPC) se componen de un identificador geográfico mundial o identificador de red de 3 bits, un identificador de zona/red o clúster de red de 8 bits y un identificador de punto de señalización o miembro del clúster de red de 3 bits, la importancia de estos códigos es debido al hecho que el único propósito de esta etapa (MTP3) consiste en llevar al punto de señalización (SP) correcto los mensajes recibidos.

Las funciones disponibles para esta capa son las siguientes:

- Discriminación de mensajes: los mensajes recibidos por los puntos de señalización (SP) son verificados en la cabecera que contiene el punto de señalización de destino (DPC), para determinar si debe ser procesado en este punto o ser enviado a otro punto de la red de señalización.
- Distribución de mensajes: los mensajes en los que se ha determinado que deben procesarse en este punto de señalización, se someten a un

proceso de análisis del octeto de información de servicio (SIO) del mensaje para determinar cuál es la función solicitada.

- Encaminamiento de mensajes: en los casos cuando el punto de señalización de destino (DPC) es diferente del código del punto de señalización (CPS) hay que proceder a utilizar funciones del STP para reenviar el mensaje al punto de señalización (SP) correcto.

1.5.2.3. Capa de aplicación

La responsabilidad de establecer, mantener, supervisar y finalizar las llamadas telefónicas recae sobre los protocolos de aplicación, entre ellos se encuentran los siguientes:

- *ISDN User Part (ISUP)*: maneja los servicios relacionados a la red de circuitos conmutados, lo cual incluye la identificación de usuarios entre otras funciones.
- *Signaling Connection Control Part (SCCP)*: en comparación con MTP3, que provee DPC para encontrar los puntos de señalización, SCCP provee números de sub sistemas para el direccionamiento de mensajes a aplicaciones específicas, ya que es utilizado como transporte para servicios de la capa de aplicaciones TCAP.
- *Transaction Capability Application Part (TCAP)*: permite el intercambio de información no relacionada al circuito por medio de SSCP, entre los servicios que puede ofrecer se incluye el de realizar peticiones a los SCP para determinar los números asociados a los números de servicios como el 800.

2. FUNDAMENTOS DE TELEFONÍA DE VOZ SOBRE IP

Para que un modelo de tecnología que proporciona un servicio de llamadas telefónicas pueda ser considerado como funcional se debe cumplir con la integridad y la sincronización de los datos presentados a los usuarios, pues la semántica de las palabras y las oraciones formadas en el extremo receptor puede cambiar su significado si una letra es cambiada por error o está ausente, incluso si el tiempo entre cada palabra recibida no es el correcto.

Estas observaciones definen el modelo de comunicación para la tecnología de voz sobre IP, el cual establece métodos y procedimientos para ser utilizados en la red de conmutación por paquetes que utilizan el protocolo IP como transporte, para transmitir conversaciones de voz en tiempo real con una calidad lo suficientemente buena, de tal forma que los usuarios se puedan dar a entender.

2.1. Redes conmutadas por paquetes

El envío de datos por las redes conmutadas por paquetes que utiliza el protocolo de internet para realizar el enrutamiento, comúnmente son llamadas redes IP, estas se basan en la segmentación de los datos para crear unidades de longitud limitada, que con la adición de identificadores le permitan a los paquetes moverse entre los dispositivos intermedios que componen la red, con el objetivo de alcanzar su destino, donde al ser recibidos son ensamblados nuevamente para ser presentados al usuario, una cualidad importante de estas redes es que descarta la necesidad de un circuito físico dedicado para cada transmisión.

Una de las propiedades principales de las redes conmutadas por paquetes es la presencia de las direcciones de destino y los métodos de comprobación de errores en cada paquete transmitido a la red, que permitirá a los dispositivos intermedios analizar cada paquete recibido y a los dispositivos finales ensamblar el contenido, estos paquetes pueden ser transmitidos a la red con base en una combinación de los siguientes métodos:

- Transmisión no orientada a la conexión: los paquetes son enviados de forma independiente por el emisor, por lo tanto los dispositivos intermedios y finales no tendrán un conocimiento previo de los mensajes anteriores, por lo que el dispositivo final no podrá realizar solicitudes de reenvío en este tipo de transmisiones.
- Transmisión orientada a la conexión: en este caso la transmisión se realiza con base en sesiones lógicas, esto indicará a los dispositivos que deben procesar los datos recibidos como un conjunto y no de forma independiente, lo que en algunos casos les permitirá cambiar ciertos valores en la conexión o realizar reclamos de reenvío al dispositivo emisor, en caso de pérdida de algún paquete en la red.
- Circuito virtual: constituye el establecimiento de una determinada ruta en la red, donde el dispositivo emisor transmitirá todos los paquetes por los mismos nodos, el establecimiento de esta ruta no implica la reserva de los recursos, como en el caso de la conmutación de circuitos.

2.1.1. Modelos de referencia

Este tiene la tarea de establecer etapas determinadas en el proceso de intercambio de datos de un dispositivo a otro, donde cada etapa tiene una tarea específica que debe cumplir, estas etapas tienen una interacción únicamente con

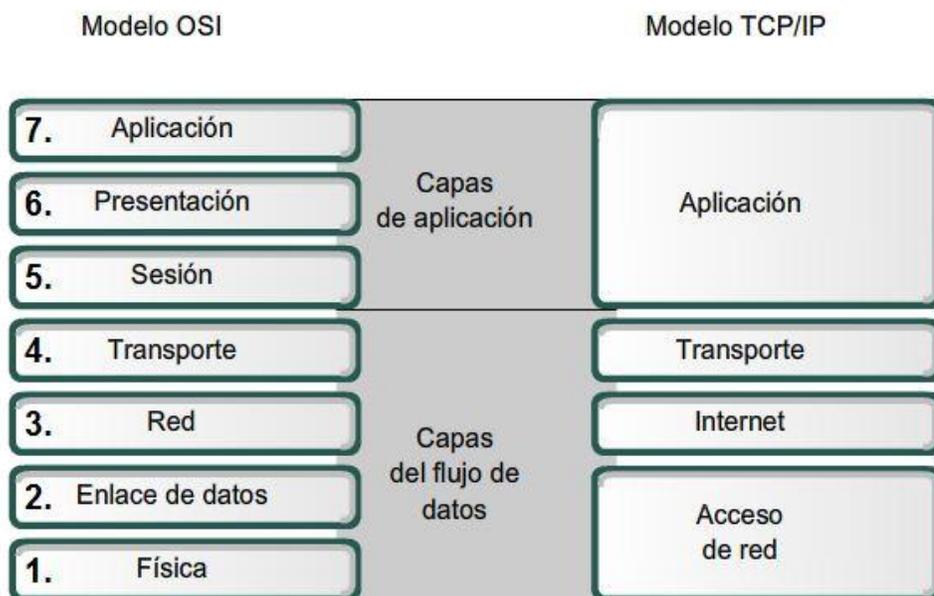
sus etapas adyacentes, el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI) propone 7 etapas o capas que se describen a continuación:

- Capa 7 (aplicación): da servicio a los programas que interactúan con los usuarios que desean establecer un intercambio de datos, un ejemplo de estas aplicaciones es HTTP.
- Capa 6 (presentación): da formato a los datos entre la capa de aplicación y el resto de capas para que pueda ser entendido por diferentes equipos.
- Capa 5 (sesión): describe los métodos que utilizan los equipos para establecer, administrar y terminar las sesiones entre dos terminales en un intercambio de datos.
- Capa 4 (transporte): en esta tiene lugar la fragmentación de los datos proporcionados por las capas superiores, donde dispone de dos modalidades, orientada a conexión por medio de segmentos o sin conexión por medio de datagramas.
- Capa 3 (red): en esta se determina la selección de rutas entre los terminales de red para entregar los mensajes que en este punto son considerados paquetes de datos debido a la información adicional que es agregada.
- Capa 2 (enlace de datos): tiene la tarea de alinear, delimitar y realizar transparencia de tramas, detección de errores en las tramas y control de flujo de tramas.
- Capa 1 (física): define todo lo relacionado a los elementos físicos de la conexión como cables, niveles de tensión, sincronización de tramas entre otros.

En el caso de las redes que utilizan el protocolo de internet, el modelo TCP/IP, que es un caso específico del modelo OSI, el cual propone 4 etapas, donde la capa de aplicación reúne todo lo relacionado a la aplicación,

presentación y sesión del modelo OSI, la capa de transporte define específicamente al protocolo de control de transmisión (TCP) y en la capa de red al protocolo de internet (IP), mientras que la capa de acceso a la red de TCP/IP representa la unión de la capa de enlace de datos y capa física del modelo OSI en la figura 10 se observa la relación que existe entre el modelo de referencia OSI y TCP/IP.

Figura 10. **Modelo OSI versus TCP/IP**



Fuente: CISCO.CCNA Exploration. *Aspectos básicos de Networking*. Capítulo 3.1.1

2.1.2. Componentes de una red IP

Para establecer un intercambio de datos entre dos dispositivos en una red IP normalmente se encontrarán dos tipos de red, las cuales están dedicadas a un propósito específico a nivel de aplicaciones y protocolos para facilitar la administración y control, estas redes son las siguientes:

- Red de área local (LAN): es considerada una red de tipo privada la cual puede funcionar con total autonomía de la red pública, esta es donde el usuario tiene un control total del direccionamiento, seguridad y dispositivos que pueden conectarse a la red.
- Red de área ancha (WAN): considerada como la red pública para redes IP, la cual interconecta múltiples redes locales sin importar la distancia geográfica entre ellas.

Los componentes que integran una red de área local pueden ser de una gran variedad, especialmente los dispositivos finales que utilizan los usuarios, ya que puede ser cualquier equipo con la capacidad para manejar el protocolo TCP/IP, sin embargo, los dispositivos intermedios que se pueden encontrar en la red dedicados al encaminamiento de los paquetes son menos diversos, ya que poseen tareas específicas en una determinada capa del modelo de referencia OSI, los más comunes son los siguientes:

- Repetidor: utilizado para regenerar las señales que recibe y retrasmirtiéndolas sin hacer cambios en el contenido de los bits, este dispositivo trabaja en la capa física del modelo de referencia OSI.
- Concentrador (HUB): dedicados a replicar la información que reciben a todos sus puertos activos, el nivel de inteligencia para estos equipos aplica para la capa física del modelo de referencia OSI, pues se dedica únicamente a replicar bits sin revisar el contenido.
- *Switches*: estos dispositivos operan en la capa 2 del modelo OSI debido a que antes de reenviar los paquetes que recibe analizan el contenido de la dirección física para determinar si conoce el destino y posteriormente reenviar o descartar el paquete.

- *Router*: dispositivo encargado de realizar enrutamiento de paquetes a nivel 3 del modelo de referencia OSI con base en el direccionamiento lógico propuesto por el protocolo de internet.
- *Switches* capa 3: estos dispositivos pueden ser utilizados como un Switch de capa 2 el cual solo analiza direcciones físicas o puede ser configurado para el enrutamiento de paquetes de capa 3 por medio de direcciones lógicas.

2.1.2.1. Direccionamiento IP en una red local

Una red de área local depende de dos direcciones para funcionar, la primera de ellas es conocida como dirección física o dirección MAC con la cual se identifica cada uno de los dispositivos de la red a nivel de capa 2, misma que se utiliza por los dispositivos de un mismo segmento para determinar si ellos son el destino de los mensajes recibidos, mientras que los dispositivos intermedios de capa 2 la utilizan para establecer la ruta que deben tomar para encontrar el destino sin recurrir a la capa superior, esta dirección se expresa con 12 dígitos hexadecimales donde los primeros 6 identifican al fabricante y los últimos 6 identifican al dispositivo.

La segunda dirección es conocida como dirección IP la cual es utilizada para identificar a los dispositivos a nivel de capa 3, esta contempla la ubicación en diferentes segmentos de red, en su versión 4 está constituida por 32 bits que identifican al segmento de red (*net id*) y la otra al dispositivo (*host*) dentro de ese segmento, la longitud de cada una de estas partes la determina la máscara de red (*net mask*), la cual indica a los equipos cuántos bits (de los 32 de la dirección) son dedicados a la red y cuántos son dedicados al *host*, la dirección de la puerta

de enlace (*gateway*) es utilizada como ruta de salida para los paquetes en los que se determinó que el destino se encuentran en otro segmento de red.

2.1.2.2. Direccionamiento IP en una red pública

Una de las premisas del direccionamiento IP es que todas las direcciones sean únicas para cada dispositivo, por lo cual se estableció un rango de direcciones IP que pueden ser utilizadas exclusivamente por las redes locales para trabajar con completa autonomía y dejando el resto para la red pública en la tabla IV puede verse el rango definido por la RFC1918

Tabla IV. Rango de direcciones IP locales

DIRECCIONES IP PRIVADAS				
CLASE	RANGO IP		REDES PRIVADAS (RFC 1918)	
A	0	127	10.0.0.0	a 10.255.255.255
B	128	191	172.16.0.0	a 172.31.255.255
C	192	223	192.168.0.0	a 192.168.255.255

Fuente: CISCO. *Redes cisco instalación y administración de hardware y software*. p.27.

2.2. Modelo para la tecnología voip

El modelo de transmisión de voz sobre la red IP se basa en protocolos de señalización y protocolos de transporte, los cuales en conjunto deben lograr lo siguiente:

- Etapa inicial: determinar la ubicación de los usuarios para atender las solicitudes de contacto y hacer la negociación de los parámetros.
- Etapa intermedia: una vez establecidos los parámetros de la conexión entre los dispositivos debe enviar la información de voz de un punto a otro en ambas direcciones y atender cualquier petición de los usuarios mientras la comunicación esté establecida como por ejemplo, una llamada en espera, una conferencia, una transferencia de llamada, etc. además de la supervisión de la conexión en caso de alguna falla con la red o en los dispositivos.
- Etapa final: una vez hecha la solicitud por alguna de las dos partes se procede a realizar los procedimientos pertinentes de desconexión entre los dispositivos

2.2.1. Protocolos de señalización

Definen la interacción con los usuarios, la arquitectura de la red, los mensajes relacionados a la comunicación entre los dispositivos, el alcance de las funciones, en resumen todo lo relacionado al establecimiento, supervisión y finalización de las sesiones entre dispositivos voip, un elemento clave de estos protocolos es la etapa de interacción con el usuario, pues deben trabajar de forma semejante a la red de telefonía tradicional, ya que para los usuarios no debe existir diferencia alguna en la tecnología que utilizan, un ejemplo sería la indicación de tonos auditivos del estado de sus solicitudes (tono de espera, tono de ocupado, tono de llamada rechazada, tono de congestión, etc.) .

En lo referente a la arquitectura de la red, los dispositivos que la integran y sus funciones, así como la estructura de mensajes puede variar según la familia que se utilice, entre los más utilizados para la señalización de telefonía en la red IP se tiene al protocolo H.323 definido por la UIT-T y al protocolo de inicio de

sesión SIP definido por la IETF, siendo el protocolo SIP el que apunta a la estandarización en llamadas voip.

2.2.2. Protocolos de transporte

Una vez configurados los parámetros para la comunicación entre dos dispositivos por los protocolos de señalización, se determinan los métodos para el envío de los paquetes que contienen la carga útil que es el resultado de la codificación binaria de las muestras de la señal de voz, estos paquetes debe ser transportados de tal manera que la sincronización de los paquetes en el extremo receptor sea lo mejor posible.

El protocolo de tiempo real (RTP) trabaja un esquema de transmisiones de paquetes no orientados a conexión, por lo que los datos se comprimen en datagramas (UDP) y son tratados de forma independiente por los equipos intermedios en la red IP, este protocolo se definen como el estándar para la trasmisión de datos en tiempo real para la red IP.

2.3. Telefonía voip.sip

Esta telefonía se define como la telefonía que utiliza el protocolo de inicio de sesión (SIP) como herramienta principal para la señalización de conversaciones de voz en tiempo real sobre la red IP (voip), la diferencia más notable con la telefonía tradicional se debe a que los usuarios no dependen de una ubicación o un dispositivo específico para acceder al dominio de servicio, dado que la movilidad y la presencia de los usuarios está determinada por las siguientes características:

- Dirección física: es la dirección IP asignada al dispositivo cuando se conecta a la red, dado que no importa el segmento de la red a la que se conecte (siempre y cuando tenga un direccionamiento válido dentro de dicho segmento), probablemente esta dirección será diferente cada vez que se vuelva a conectar.
- Dirección lógica: es una representación en forma de correo electrónico que contiene el ID del usuario (esto puede ser un nombre o un número) y el *host* o dominio que le da servicio, esta dirección no variará aun cuando se cambie de ubicación física o de dispositivo, pues es única para cada usuario.

2.3.1. Componentes de la red de señalización voip.sip

La red de señalización del protocolo SIP debe ser considerada como una red que brinda un servicio específico, dentro de otra red que brinda la seguridad y el transporte de los datos transmitidos entre los equipos implicados, según la RFC 3261 los elementos que deben integrar dicha red de servicio son los siguientes:

- Servidor de registro: encargado de atender las solicitudes de registro de los usuarios para luego agregar esta información en los servidores de localización para el dominio que este administre.
- Servidor *proxy*: normalmente es utilizado como el enrutador de las peticiones SIP, administrador de políticas de permisos de llamadas y la interpretación o modificación de las peticiones según sea necesario
- Servidor de redirección: provee direcciones alternativas donde el usuario llamado puede ser localizado.
- Servidor de localización: es utilizado para establecer la ubicación del usuario llamado.

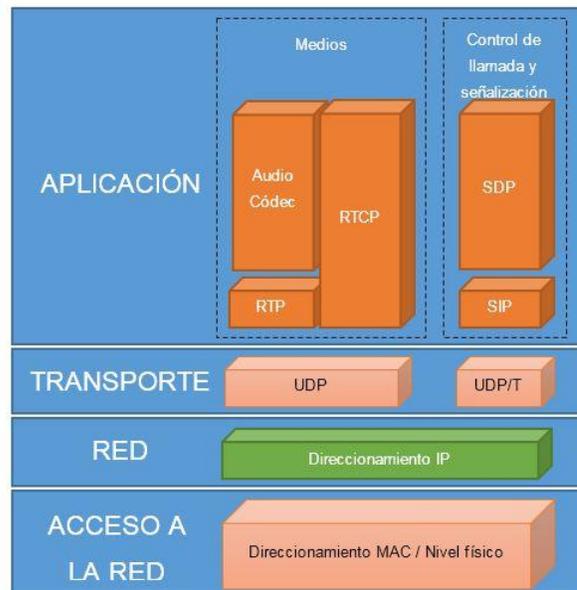
2.3.2. Protocolos utilizados en el modelo TCP/IP

En la figura 11 se observan los protocolos que se utilizan en la telefonía voip.sip, los cuales están ajustados al modelo de referencia TCP/IP, que proporciona el transporte de los datos, los protocolos disponibles son los siguientes:

- Protocolo de inicio de sesión (SIP): se encarga de todos los aspectos relacionados a la configuración de la sesión entre los dispositivos, en otras palabras, definir los métodos de registro, de contacto y localización y de funciones telefónicas que impliquen cambios de la sesión en curso.
- Protocolo de descripción de sesión (SDP): considerado el complemento del protocolo SIP, ya que define los parámetros necesario para establecer un acuerdo del contenido multimedia de la sesión, los cuales son:
 - Nombre de la sesión y propósito
 - Información de conexión
 - Tiempo activo
 - Tipo de media, puertos y protocolo utilizado
 - Tipo de codificación para la media
- Protocolo de tiempo real (RTP): encargado de trasportar los paquetes de audio con base en los siguientes parámetros:
 - Payload type: indica el método de codificación utilizado en el extremo emisor, necesario para decodificar la carga útil.
 - Número de secuencia: utilizado para determinar posibles pérdidas de paquetes, es un número secuencial que aumenta con cada paquete enviado.

- Marca de tiempo (*timestamp*): permite la sincronización y cálculo efectivo del *Jitter* (diferencia de tiempo entre el momento en que es enviado y el momento en que es recibido) de los paquetes de voz en el extremo receptor para la reconstrucción del audio original, consta de un valor binario que refleja el instante de muestreo del primer octeto del paquete RTP, este es tomado de un reloj que se incrementa de manera lineal en el tiempo, cuyo valor es especificado estáticamente en el formato del *payload*.
- Protocolo de control de tiempo real (RTCP): provee mecanismos para detectar qué tan buena es la calidad del servicio (retardo, *Jitter*, porcentaje de pérdidas, etc.), este protocolo es considerado de carácter opcional en la transmisión de paquetes RTP.

Figura 11. **Protocolos de telefonía SIP en TCP/IP**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft office Word 2013.

2.3.3. Descripción de mensajes

El protocolo SIP utiliza un método de intercambio de mensajes del tipo cliente-servidor, donde cada cliente envía peticiones y los servidores responden a cada una de ellas, las peticiones de los clientes se definen con un método y un identificador de recurso unificado URI, el cual identifica al usuario, al dominio y al puerto utilizado para la sesión, de manera estándar la RFC 3261 utiliza los siguientes métodos para el protocolo SIP:

- *Register*: utilizado cuando los clientes desean registrarse en el servidor SIP, el cliente debe utilizar credenciales específicas para acceder al servicio y una vez aceptado el servidor toma la información relacionada a su localización.
- *Invite, ack, cancel*: en conjunto son utilizadas por los clientes para solicitar una sesión con otro usuario, donde *ack* y *cancel* se utilizan para confirmar o rechazar alguna información relacionada a la petición de invitación.
- *Bye*: utilizado para terminar la sesión.
- *Options*: para consultar las capacidades de los servidores.

Mientras que las respuestas de los servidores están definidas por un código de estatus que contiene tres dígitos, donde el primer dígito indica la familia de respuestas a la que pertenece y los últimos dos a que respuesta específica se refiere, estas familias son las siguientes:

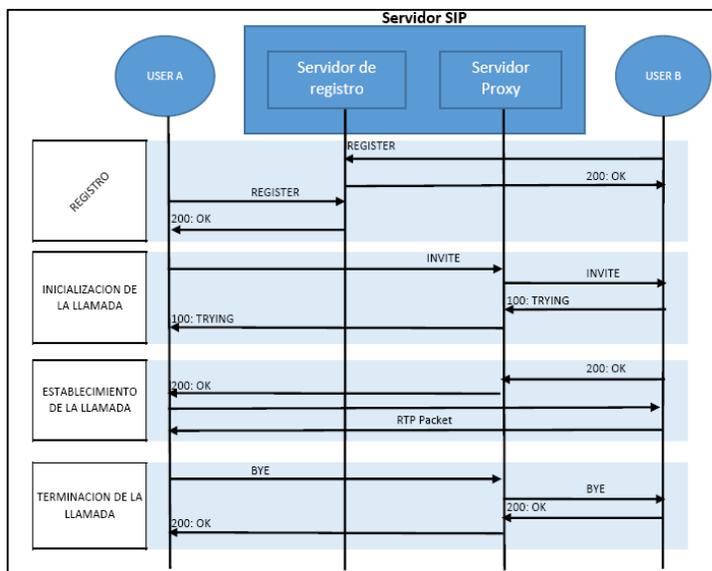
- (1XX) Provisional: indica a los clientes que las peticiones están en proceso.
- (2XX) Éxito: indica a los clientes que la petición ha sido exitosa.
- (3XX) Redirección: indica a los clientes que la localización del usuario llamada es otra.

- (4XX) Error de cliente: indica a los clientes que la petición no puede ser completada por el servidor o que hay un error en la petición.
- (5XX) Error de servidor: el servidor no pudo completar la acción.
- (6XX) Falla global: indica a los clientes que la petición no puede ser resuelta en ningún servidor del sistema.

2.4. Realizando una llamada

Para completar una llamada utilizando el protocolo SIP, básicamente se deben seguir 4 pasos, según se describe en la figura 12, donde existe un servidor SIP con funciones de servidor de registro y servidor *proxy* para los usuarios este servidor establecerá un dominio de servicio (que puede ser identificado con una dirección IP o un nombre) donde los usuarios deben registrarse para proporcionar la movilidad y presencia.

Figura 12. Intercambio de mensajes SIP



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office 2013, con base en la RFC 3261- SIP.

2.4.1. Registro de usuarios

Antes de hacer o recibir llamadas los usuarios deben registrarse al servidor del dominio para lo cual utilizan la petición *register*, según la estructura de la figura 13, donde:

- Línea de petición: indica la dirección del servidor al cual desea registrarse (*SIP Server Address*).
- Cabecera del mensaje: indica al servidor la dirección lógica actual del usuario (*User Address*), esta posteriormente será utilizada como contacto, además proporciona las credenciales para el registro (*User ID* y *Password*) la autenticación se realiza por medio de encriptación MD5.

Figura 13. Estructura del mensaje SIP de registro

```
Session Initiation Protocol (REGISTER)
Request-Line: REGISTER sip:[SIP Server Address] SIP [version]
Method: REGISTER
Request - URI: sip: [SIP Server Address]
Message Header
Via: SIP [version]/UDP [User IP Address]:[User port]
To: sip: [User ID]@[SIP Server Address]
From: sip: [User ID]@[SIP Server Address]
Contact: sip: [User ID]@[SIP Server Address]:[User Port]
Authorization: [encriptado mediante MD5]
User-Agent: [equipo utilizado] [HASH de password]
```

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office 2013, con base en la RFC 3261- SIP y Wireshark.

2.4.2. Inicialización de la llamada

Una vez los usuarios se encuentran registrados, estos pueden realizar peticiones de llamadas, por ejemplo, si el usuario A desea contactar al usuario B

este utilizará la petición *invite* que tiene una estructura según la figura 14, la cual contiene la siguiente información:

- Línea de petición: contiene el id del usuario B y la dirección del dominio al que está registrado el usuario B.
- Cabecera de mensaje: contiene la información de direccionamiento lógico para el usuario que origina la llamada y la del usuario que se desea contactar.
- Cuerpo del mensaje: con ayuda del protocolo SDP envía las opciones de las que dispone el terminal del usuario A para definir la sesión RTP con base en el intercambio de la siguiente información:
 - Propietario de la sesión (o): define un ID a la sesión y una dirección IP del equipo que creará el audio del usuario A.
 - Nombre de la sesión (s): define un nombre para la sesión
 - Información de conexión (c): define la dirección IP a la que debe ser enviados los paquetes de audio RTP.
 - Descripción de media (m): hace de conocimiento al usuario B las posibles opciones para codificar los paquetes de audio por parte del equipo terminal del usuario A, para que este seleccione una.

Cuando el servidor ha reenviado la petición al usuario B, este responde con el mensaje de intentando (*trying*), el servidor reenvía este mensaje al usuario A, la estructura de este mensaje se ve en la figura 15, el cual tiene la única función de indicarle al usuario que está esperando la respuesta.

Figura 14. Estructura del mensaje SIP de invitación

```
Session Initiation Protocol (INVITE)
Request-Line: INVITE sip: [User ID]@[SIP Server Address] SIP [version]
  Method: INVITE
  Request - URI: sip: [User ID_B]@[SIP Server Address]
Message Header
  Via: SIP [version]/UDP [User IP Address_A]:[User port]
  To: sip: [User ID_B]@[SIP Server Address]
  From: sip: [User ID_A]@[SIP Server Address]
  Contact: sip: [User ID_A]@[SIP Server Address]:[User Port]
  User-Agent: [equipo utilizado]
Message Body
  Session Description Protocol
    Session Description Protocol Version ( v )
    Owner/Creator, Session Id ( o ): [Identificacion del propietario de la sesion]
    Session Name ( s ): [Nombre asignado a la sesion]
    Connection Information ( c ): [Direccion IP que debe recibir el audio]
    Time Description ( t )
    Media Description, name and address ( m )
      [Media Type Options]
      [Media Port Options]
      [Media Protocol Options]
      [Media format Options]
    Media Attribute ( a )
```

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office 2013, con base en la RFC 3261- SIP y Wireshark.

Figura 15. Estructura del mensaje SIP de intento

```
Session Initiation Protocol (TRYING)
Status-Line: SIP [version] 100 trying
  Status Code: 100
Message Header
  Via: SIP [version]/UDP [User IP Address_A]:[User port_A]
  To: sip: [User ID_B]@[SIP Server Address]
  From: sip: [User ID_A]@[SIP Server Address]
```

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office 2013, con base en la RFC 3261- SIP y Wireshark.

2.4.3. Establecimiento de llamada

Cuando el usuario B acepta la llamada este responde al servidor con el mensaje de aceptación (*ok*) el cual reenvía al usuario A, este mensaje tiene la estructura de la figura 16 y contiene la siguiente información:

- Cabecera de mensaje: contiene la información de direccionamiento lógico para el usuario que origina la llamada y la del usuario que se desea contactar.
- Cuerpo del mensaje: con base en las opciones enviadas en el mensaje *invite* por el usuario A, este debe indicar la selección realizada por el usuario B, lo cual define los siguientes parámetros para la sesión RTP
 - Creador de la sesión (o): únicamente define la dirección IP del equipo que creara el audio para el usuario B pues el ID fue definido anteriormente.
 - Nombre de la sesión (s): definido anteriormente.
 - Información de conexión (c): define la dirección IP que debe recibir los paquetes de audio en el equipo del usuario B.
 - Descripción de media (m): envía al terminal A la selección de los parámetros para la transmisión de paquetes RTP.

Una vez configurados los parámetros de la sesión inicia la transmisión de los paquetes codificados y transportados con el protocolo RTP, los cuales contienen la carga útil de voz de la conversación, cuando la conversación desea ser terminada cualquiera de los dos dispositivos puede enviar el mensaje *bye*, como se observa la estructura de la figura 17.

Figura 16. Estructura del mensaje SIP de aceptación

```
Session Initiation Protocol (OK)
Status-Line: SIP [version] 200 OK
  Status Code: 200
Message Header
  Via: SIP [version]/UDP [User IP Address_A]:[User port_A]
  To: sip: [User ID_B]@[SIP Server Address]
  From: sip: [User ID_A]@[SIP Server Address]
  Contact: sip: [User ID_A]@[SIP Server Address]:[User Port]
  User-Agent: [equitpo utilizado]
Message Body
  Session Description Protocol
    Session Description Protocol Version ( v )
    Owner/Creator, Session Id ( o ): [Identificacion del creador de la sesion]
    Session Name ( s ) : -
    Connection Information ( c ) : [Direccion IP que debe recibir el audio]
    Time Description ( t )
    Media Description, name and address ( m )
      [Media Type Select]
      [Media Port Select]
      [Media Protocol Select]
      [Media format Select]
    Media Attribute ( a )
```

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office 2013, con base en la RFC 3261- SIP y Wireshark.

Figura 17. Estructura del mensaje SIP de despedida

```
Session Initiation Protocol (BYE)
Request-Line: BYE sip: [User ID]@[SIP Server Address] SIP [version]
  Method: BYE
  Request - URI: sip: [User ID]@[SIP Server Address]
Message Header
  Via: SIP [version]/UDP [User IP Address_A]:[User port_A]
  To: sip: [User ID_B]@[SIP Server Address]
  From: sip: [User ID_A]@[SIP Server Address]
```

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office 2013, con base en la RFC 3261- SIP y Wireshark.

3. COMPARATIVA TÉCNICA PARA TELEFONÍA TRADICIONAL *VERSUS* VOIP.SIP

La comparación entre el modelo de telefonía tradicional y el modelo de telefonía de voz sobre IP con señalización SIP evidencia varias diferencias, las cuales establecen la preferencia de uno sobre el otro más allá del tema de costos o economía en la utilización del servicio por los usuarios, las siguientes categorías se consideran como determinantes en la selección de uno de los dos modelos según sus características técnicas:

- La infraestructura: establece las limitantes del servicio de forma general y los métodos utilizados para que los dispositivos finales puedan acceder al servicio.
- Los dispositivos: dado que la interacción con el usuario debe permanecer lo más simple y semejante entre ambos modelos, las características distintivas de los dispositivos se evidencia de frente a la red de acceso con la que deban interactuar.
- Los métodos de contacto: debido a que el cambio de ubicación geográfica es bastante común entre los usuarios, las limitantes que pueda existir para la movilidad o cambio de ubicación sin alterar el número o dirección de contacto resulta ser de suma importancia.
- Integración de servicios: derivado del hecho que la tecnología de comunicaciones se direcciona a una convergencia de todos los servicios que están relacionados sobre la misma red e incluso sobre los mismos dispositivos.

3.1. Infraestructura de transmisión

A nivel de infraestructura, la telefonía tradicional y la telefonía voip.sip se diferencia en la forma en que la información es transportada de un punto a otro, para el primer modelo se utiliza conmutación de circuitos, y para el segundo, conmutación de paquetes, las características comparativas más importantes de estos dos métodos de conmutación se detallan a continuación (ver tabla V).

Tabla V. **Conmutación de circuitos versus conmutación de paquetes**

	Telefonia tradicional (conmutación de circuitos)	Telefonia voz sobre IP (conmutación de paquetes)
Trasmisión en tiempo real	Sí	Sí
Reserva de recursos	Sí	No
Contención	No	Sí
Bloqueo por congestión	Sí	No
Nivel de gestión	Simple	Compleja
Tipo de circuito	Fijo	Virtual o datagramas
Tipo de retardo	Fijo	Variable
Tolerancia a fallos	Baja	Alta
Tipo de ruta	Fija	Dinámica

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Word 2013.

- La contención de la velocidad máxima de transmisión en el modelo de conmutación de circuitos está definido por el límite impuesto por el medio de transmisión asignado previo a que la comunicación pueda ser establecida, mientras en el modelo de conmutación por paquetes el canal de transmisión no es exclusivo, por lo que dependerá de la velocidad máxima permitida por el medio y por la cantidad de información transmitida simultáneamente.

- En casos de congestión de red el modelo conmutado por paquetes no presentará un bloqueo de comunicaciones como en la conmutación de circuitos, pues no necesita reservar recursos, sino únicamente compartirlos con otras comunicaciones, sin embargo, para casos de saturación extrema se pueden producir retardos considerables en la comunicación.
- La tolerancia a fallas por parte de la red conmutada de circuitos es muy baja dado que define una ruta estática para el canal de comunicación, mientras que las redes conmutadas por paquetes pueden alterar la ruta de comunicación de forma dinámica mientras está en curso la transmisión.
- La contención del límite de velocidad máxima, el no bloqueo por congestión y la tolerancia a fallas por medio de enrutamiento dinámico para llamadas en curso en las redes conmutadas por paquetes producen retardos en la comunicación de proporciones variables que puede suceder en cualquier momento de la comunicación.

3.1.1. Características de acceso

Los métodos de acceso disponibles en un determinado modelo de telefonía para los dispositivos de los usuarios definen la forma del intercambio de información, estos métodos en la red tradicional son de carácter analógico o digital, mientras que la red voip.sip puramente IP. En la tabla VI se enumeran los tipos de métodos de acceso disponibles.

Tabla VI. **Métodos de acceso**

Tipo de acceso	Red de acceso	Método utilizado en telefonía tradicional	Método utilizado en Telefonía voip.sip
Analógico	Líneas troncales	Líneas troncales analógicas	-

Continuación de tabla VI.

Digital	RDSI	Acceso básico (BRI) / Primario (PRI)	-
IP	Red IP	-	Usuario SIP

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Word 2013.

3.2. Dispositivo de usuario

Los dispositivos utilizados por los usuarios deben realizar las siguientes tareas: establecer una interfaz entre los usuarios y el sistema telefónico que presta el servicio, convertir el sonido en una señal eléctrica y convertir una señal eléctrica en sonido, en la tabla VII se enumeran los dispositivos disponibles para ambos modelos de telefonía.

Tabla VII. **Características del dispositivos de usuario en telefonía tradicional y telefonía voip.sip**

Estado del dispositivo	Modelo telefónico	Tipo de dispositivo	Tipo de datos	Red de acceso
Hardware específico	Tradicional	Teléfono analógico	Analógico	Líneas troncales analógicas
		Teléfono digital	Digital (TDM)	Acceso RDSI
	voip.sip	Teléfono IP	Digital (Datagramas)	Red IP
		Convertidor IP-TDM	Digital (Datagramas)	Red IP
Hardware no específico	Tradicional	-	-	-
	voip.sip	PC	Digital (Datagramas)	Red IP
		embebidos	Digital (Datagramas)	Red IP

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Word 2013.

La interfaz con el usuario debe ser semejante, sin importar el modelo que se utilice o la red de acceso a la que el dispositivo deba conectarse, por lo tanto los componentes que realizan la interfaz con el usuario son los siguientes:

- Teclado numérico: que posee una forma estándar de 12 posiciones en las que contiene los dígitos del 0 al 9, el numeral (#) y el asterisco (*).
- Horquilla: indica a la central telefónica que el usuario desea iniciar una llamada o terminarla, ya que su funcionamiento semeja a un interruptor que abre o cierra un circuito para darle indicaciones a la central, la cadencia con la que esta tecla es presionada, puede permitir a los usuarios otras funciones como llamada en espera o transferencia de llamadas.
- Teclas de funciones especializadas: estas son teclas para acceso rápido, no tiene una forma estándar debido a que esto queda a decisión del fabricante, entre las más usada podemos mencionar: llamada en espera, transferir llamada, altavoz, volumen de llamada, volumen de timbre, líneas en espera, conferencias, remarcado, marcación rápida.
- Micrófono: transductor utilizado para convertir el sonido de la voz en una señal eléctrica.
- Auricular: transductor utilizado para convertir la señal eléctrica en sonidos.

3.2.1. Dispositivos con hardware específico

Los dispositivos de hardware específico son aquellos que han sido construidos únicamente para tareas relacionadas a la telefonía conocidos comúnmente como teléfonos, los cuales cumplen con los componentes descritos anteriormente para la interfaz con el usuario donde el elemento diferenciador está

dado por la interfaz hacia la red de telefonía la cual define los siguientes dispositivos:

- Teléfono analógico: se caracteriza por la utilización de las señales totalmente analógicas proporcionadas por el micrófono y una codificación de tonos para las funciones del teclado numérico con el objetivo de establecer la interfaz con la central de comunicación, normalmente solo pueden ser utilizados en la red de telefonía tradicional a través de la red de acceso analógica (líneas troncales análogas).
- Teléfono digital: se caracteriza por realizar una conversión de la señal analógica recibida del micrófono a una señal digital, donde la codificación de los impulsos y velocidades está definida por el protocolo RDSI, este tipo de dispositivo presenta ventajas en comparación con los teléfonos analógicos, pues permite el intercambio de mayor información y la utilización de pantallas LCD de bajo nivel que funcionen como interfaz gráfica con el usuarios, normalmente solo pueden ser utilizados en la red de telefonía tradicional a través de la red de acceso de la RDSI.
- Teléfono IP: constituye el primer dispositivo compatible con la telefonía voip.sip, pues utilizando la pila de protocolos del modelo TCP/IP logra establecer la conexión con el servidor de servicio SIP a través de la red de acceso IP, utilizados únicamente en la red de telefonía voip.sip.

3.2.2. Dispositivos con hardware no específico

Este tipo de dispositivos se definen como aquellos que no han sido fabricados para tareas de telefonía pero debido a su versatilidad para manejar aplicaciones de software son utilizados como dispositivos finales en los sistemas de telefonía, se reconocen dos clases de dispositivos de este tipo: computadoras y sistemas embebidos como teléfonos inteligentes y *tablets*.

Las aplicaciones que pueden instalarse en estos dispositivos son conocidos como *softphone* o teléfonos virtuales, los cuales realizan la comunicación con el usuario a través de una interfaz gráfica para emular el teclado, la horquilla, y las teclas de funciones específicas, el micrófono y altavoz instalado con propósitos generales son utilizados para la conversión de sonido a señales eléctricas y viceversa.

En estos dispositivos la pila de protocolos TCP/IP es considerada como un elemento para la conexión en general, por lo que las aplicaciones *softphone* son diseñadas para integrarse al modelo de telefonía voip.sip que también utiliza este método de acceso y no al modelo tradicional que estrictamente requeriría de un hardware específico para acceder al servicio.

3.3. Métodos de contacto

Cada dispositivo o usuario, dependiendo del modelo que se utilice, debe tener una dirección de contacto definida y única dentro del sistema, la movilidad de los usuarios a distintos puntos geográficos puede convertirse en un problema al intentar contactarlos nuevamente, pues este cambio debe resultar totalmente transparente, por lo que la flexibilidad que los modelos puedan permitir a los usuarios para la movilidad es muy importante ya que la dirección de contacto se basa en la ubicación lógica y posteriormente en la ubicación física del dispositivo utilizado.

3.3.1. Identidad de usuarios

La dirección lógica de un usuario o dispositivo determina su identidad dentro del sistema de telefonía, a continuación se describen los métodos de direccionamiento lógico utilizado según el modelo de telefonía utilizado:

- Para la telefonía tradicional, la ubicación lógica se basa en un plan de marcación que fue desarrollado de forma geográfica para los dispositivos con un número compuesto por un código de país, un código de área y un número local.
- Para la telefonía voip.sip, la ubicación lógica se basa en la dirección URI del usuario en el servidor que no necesariamente debe mantener una estructura geográfica como el modelo anterior, aunque para mantener una convergencia, este también puede enmascarar la dirección URI con un número compuesto por un código de país, un código de área y un número local.

3.3.2. Movilidad de usuarios

Para completar la dirección de contacto dentro del sistema, el direccionamiento lógico debe ser complementado con la dirección física del dispositivo, para la telefonía tradicional está determinado por la central de conmutación que le brinda el servicio, mientras que para la telefonía voip.sip está dada por la dirección IP asociada al dispositivo cuando se conecta a la red IP.

A continuación se enumeran dos aspectos relevantes a la movilidad, tanto en el modelo tradicional como en el modelo voip.sip para un usuario que desea cambiar de ubicación geográfica y que, por lo tanto deberá cambiar de dispositivo (ver figura 18):

- Cuando el direccionamiento lógico y físico está determinado por la posición del dispositivo y la central que brinda el servicio los usuarios pierden movilidad pues cambiar a otro dispositivo además del cambio de dirección física, implicaría un cambio de dirección lógica lo cual cambiaría el número de contacto para un mismo usuario.

- Cuando el direccionamiento lógico está asignado a los usuarios, el dispositivo que utilicen para conectarse a la red de acceso resulta indiferente pues cada vez que se realiza un cambio de posición los usuarios deben realizar el proceso de registro, lo cual requiere que actualice su dirección física para el contacto, por lo que la movilidad es viable cuando el direccionamiento lógico está asignado a los usuarios y no a los dispositivos como en el modelo de la telefonía tradicional.

Figura 18. **Movilidad de usuarios**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2013.

3.4. Integración de servicios

El servicio básico que proporciona cualquier modelo de telefonía es el de brindar comunicación a través del intercambio de voz en tiempo real entre dos usuarios y la propia infraestructura de red, la capacidad de los dispositivos y el tipo de aplicación, por lo que la integración de nuevos servicios se basa, principalmente, en estos aspectos dado que imponen los límites de interfaz y de transmisión, entre los servicios avanzados se encuentra los siguientes:

- Fax: el cual no es considerado un servicio en tiempo real, ya que según los protocolos definidos por la RDSI estas transmisiones pueden tomar de 10 segundos hasta 6 min dependiendo si este es digital o analógico, este servicio requiere de un hardware específico para ambos modelos.
- Mensajería de texto y multimedia: define el intercambio de mensajes de texto y mensajes multimedia tales como imágenes, audio y video.
- Video llamadas: la cual establece el intercambio de audio y video de ambos participantes, este tipo de función requiere de un hardware específico para la telefonía tradicional, mientras que para la telefonía voip.sip no necesariamente es específico para esta tarea.
- Video conferencias: establece el intercambio de audio y video entre los participantes de la conferencia, al igual que el video llamado requiere de un hardware específico para la telefonía tradicional, mientras que para la telefonía voip.sip no necesariamente es específico para esta tarea.

4. PROPUESTA DE MEJORA PARA TELEFONIA SIP

La telefonía voip.sip demuestra ser una herramienta muy útil para establecer una comunicación de voz entre usuarios que están geográficamente distantes usando como medio de transporte la red IP, dado que utiliza métodos definidos y estandarizados para iniciar, supervisar y terminar las comunicaciones, sin embargo, la estabilidad del proceso que conlleva cada comunicación se puede ver comprometido debido a los siguientes aspectos:

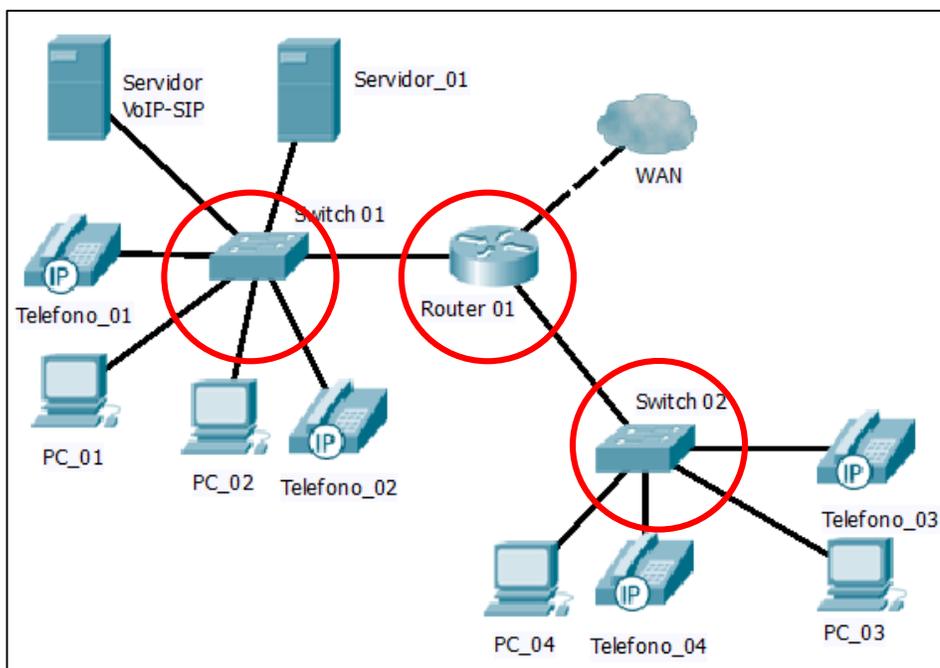
- La red de transporte: las características básicas de la red IP no contemplan aplicaciones en tiempo real, la falta de una configuración adecuada provocará inestabilidad al proceso de una comunicación voip.sip.
- El protocolo de señalización: no todas las comunicaciones voip.sip se establecen en las mismas condiciones, por lo que manejar todas las comunicaciones de forma semejante provoca inestabilidad en el proceso de comunicación voip.sip.
- Estabilidad de las aplicaciones: los usuarios en su mayoría utilizan aplicaciones voip.sip sobre dispositivos embebidos como *smartphone* y *tablets*, por lo que la selección incorrecta de la aplicación sobre una plataforma determinada provoca inestabilidad al proceso de una comunicación voip.sip.

Esto hace evidente la necesidad de proponer métodos que puedan ser aplicables para los aspectos anteriormente descritos con el propósito de mantener la estabilidad del proceso en niveles de tolerancia aceptables para los usuarios.

4.1. Propuesta para mejorar las características de la red IP

En las implementaciones iniciales la red de transporte que utiliza la telefonía voip.sip no está dedicada únicamente a paquetes de voz sino a cualquier tipo de paquete de datos generados por las distintas aplicaciones que requieran el servicio de transporte, sin distinción alguna a través de la red, una red IP que funciona de esta manera, reciben el nombre de red IP estándar, la cual tiene una configuración como se ven el figura 19.

Figura 19. Red IP estándar



Fuente: elaboración propia, empleando programa Packet Tracer ver 5.3.1 (CISCO).

En la tabla VIII se detalla un ejemplo de la asignación del direccionamiento IP correspondiente a la red estándar de la figura 19.

Tabla VIII. **Direccionamiento IP estándar para ejemplo de red voip.sip**

TIPO DE EQUIPO	NOMBRE	DIRECCIÓN DE RED IP	MÁSCARA DE RED IP	VLAN
EQUIPO DE VOZ	Servidor VoIP.SIP	172.16.1.20	255.255.255.0	1
	Telefono_01	172.16.1.21	255.255.255.0	1
	Telefono_02	172.16.1.22	255.255.255.0	1
	Telefono_04	192.168.1.21	255.255.255.0	1
	Telefono_05	192.168.1.22	255.255.255.0	1
EQUIPO DE DATOS	Servidor_01	172.16.1.10	255.255.255.0	1
	PC_01	172.16.1.11	255.255.255.0	1
	PC_02	172.16.1.12	255.255.255.0	1
	PC_03	192.168.1.11	255.255.255.0	1
	PC_04	192.168.1.12	255.255.255.0	1
EQUIPO INTERMEDIO	Switch_01	172.16.1.50	255.255.255.0	1
	Switch_02	192.168.1.50	255.255.255.0	1
	Router_01	172.16.1.1 192.168.1.1	255.255.255.0	1

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Word 2013.

En una configuración estándar todos los paquetes que transitan por la red son tratados de la misma manera dando como resultado puntos de saturación, en la figura 19 los equipos están marcados en círculos rojos, por lo tanto es necesario el diseño de red con una configuración que pueda minimizar el efecto de estos puntos de saturación. A continuación se enumeran los aspectos a ser considerados para la configuración de una red IP avanzada:

- Segmentación por redes lógicas: estableciendo una red *IP* para uso exclusivo de los paquetes de voz y otra para datos.

- Segmentación por servicios: estableciendo prioridad de procesamiento en los equipos intermedios de la red IP para todos los paquetes etiquetados como voip.sip.
- Administración del ancho de banda: estableciendo el control del recurso de ancho de banda disponible tanto para los equipos intermedios como para los enlaces entre ellos.
- Respuesta a pérdida de paquetes: estableciendo la respuesta del sistema para la pérdida de paquetes a través de la red IP.

4.1.1. Segmentación por redes lógicas

La segmentación de la red de transporte para la telefonía voip.sip implica el uso de, por lo menos tres redes virtuales (VLAN), la primera para uso de las aplicaciones de datos (no voz), la segunda para los paquetes relacionados a las aplicaciones de voz y la tercera para la administración de los equipos intermedios en la red, la Norma IEEE 802.1Q para la virtualización de redes proporciona una solución económica y de fácil administración para la implementación de estas redes, en la tabla IX se detalla la reconfiguración de la red IP estándar anterior con base en este requerimiento.

Tabla IX. **Direccionamiento IP avanzado para ejemplo de red voip.sip**

TIPO DE EQUIPO	NOMBRE	DIRECCIÓN DE RED IP	MÁSCARA DE RED IP	VLAN
EQUIPO DE VOZ	Servidor VoIP.SIP	172.16.1.2	255.255.255.0	10
	Telefono_01	172.16.1.3	255.255.255.0	10
	Telefono_02	172.16.1.4	255.255.255.0	10
	Telefono_04	172.16.1.5	255.255.255.0	10
	Telefono_05	172.16.1.6	255.255.255.0	10

Continuación de tabla IX.

EQUIPO DE DATOS	Servidor_01	192.168.1.10	255.255.255.0	20
	PC_01	192.168.1.11	255.255.255.0	20
	PC_02	192.168.1.12	255.255.255.0	20
	PC_03	192.168.1.11	255.255.255.0	20
	PC_04	192.168.1.12	255.255.255.0	20
EQUIPO INTERMEDIO	Switch_01	10.10.10.2	255.255.255.0	10,20,99
	Switch_02	10.10.10.3	255.255.255.0	10,20,99
	Router_01	10.10.10.1 172.16.1.1 192.168.1.1	255.255.255.0	10,20,99

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Office Word 2013

Para este caso las tres redes virtuales que se utilizaron serán descritas a continuación:

- Para uso de los equipos de datos se utiliza la red virtual etiquetada con el número 10, que tiene un direccionamiento IP [172.16.1.0/24].
- Para uso de los equipos de voz se utiliza la red virtual etiquetada con el número 20, que tiene un direccionamiento IP [192.168.1.0/24].
- Para la administración de la red se utiliza la red virtual etiquetada con el número 99, que tiene un direccionamiento IP [10.10.10.0/24].

Los equipos finales normalmente no conllevan una configuración adicional a la dirección IP que les corresponde dentro del segmento asignado, ya que según la Norma IEEE 802.1Q la configuración se realiza en los equipos intermedios (*switch* y *routers*) en una configuración por puertos de la siguiente manera:

- Puerto en modo acceso: cuando el puerto solamente permitirá el paso de una VLAN, donde va conectado a un equipo final.
- Puerto en modo troncal: cuando el puerto debe manejar el tráfico de más de una VLAN, como es el caso de las conexiones entre los equipos intermedios.

4.1.2. Segmentación por servicios

En redes de transporte más amplias que utilizan múltiples enrutadores, se puede utilizar una combinación de VLAN y prioridad de servicios para indicarle a los equipos intermedios en la red que los paquetes que transportan voz deben ser atendidos con mayor rapidez, este modelo de prioridades se conoce como *diffserv* (servicios diferenciados).

Este modelo se basa en la definición de un dominio *diffserv* en el cual se implementan cabeceras DSCP dentro de los paquetes IP con un valor determinado, posteriormente esta cabecera es utilizada para distinguir y clasificar los paquetes dentro de los equipos intermedios y de esa forma aplicar el tipo de procesamiento requerido.

La asignación de un valor prioritario a los paquetes de voz dentro del dominio *diffserv* proporcionará una mejor calidad de extremo a extremo para una comunicación voip.sip que utilice este modelo, es importante resaltar que para que este modelo sea funcional, todos los equipos que integran la red deben mantener una misma referencia de los valores DSCP dentro de los paquetes de lo contrario no se garantizaría que funcione de manera correcta, lo anterior impone una restricción cuando se usan redes con múltiples proveedores de servicios de internet (ISP), ya que debe coordinarse un acuerdo de estos parámetros previamente.

4.1.3. Administración del ancho de banda

El principal problema que encuentra una comunicación voip.sip en la red de transporte IP son los puntos de saturación, la primer causa de esto se debe a no definir de forma correcta la configuración de la red IP, por lo que esta no tendrá una buena respuesta en presencia de picos de tráfico, la segunda causa se debe a la capacidad máxima de *bits* que pueden ser trasportados en una cierta cantidad de tiempo por un *router*, un puerto o un enlace de datos entre dos equipos intermedios, esta capacidad es conocida como ancho de banda y se expresa en bits por segundo (bits/s).

El ancho de banda es el límite de trasmisión de datos en una red IP, esta cantidad no se puede ampliar con facilidad dado que un mayor ancho de banda implica un mayor costo, por lo que se debe hacer un uso optimizado del recurso del que se dispone para poder tomar una decisión sobre su ampliación.

Para optimizar este recurso desde el punto de vista de la red de transporte se debe realizar lo siguiente:

- Realizar un monitoreo o medición del ancho de banda en la red actual para los puntos más críticos de la red, con el propósito de determinar que aplicaciones o equipos consumiendo un mayor ancho de banda y si este consumo está justificado.
- Con base en los resultados de este monitoreo se puede definir si la mejor respuesta a la saturación en la red IP es aumentar el ancho de banda o instalar un equipo que controle y administre el ancho de banda con base en cualquiera de los siguientes parámetros o una mezcla de varios de ellos:

- Dirección IP (origen o destino).
- Dirección MAC.
- Puerto de aplicación TCP/UDP (origen o destino).

4.1.4. Respuesta a pérdida de paquetes

Se reconocen dos formas en las que un paquete se puede considerar como perdido, la primera es cuando este se ha retrasado a tal grado que ya no es útil para la tarea de reensamblar la voz en el extremo receptor y la segunda es que simplemente este nunca ha llegado al extremo receptor para su procesamiento, hasta el momento se han considerado los efectos producidos por el primero caso, pero el segundo caso es de especial importancia dado que teóricamente una aplicación voip.sip puede tolerar hasta un 1% de pérdidas en el extremo receptor, aunque es importante indicar que este valor está condicionado al tipo de codificación que se aplique a la carga útil de los paquetes de voz.

Para minimizar los efectos producidos por la pérdida de paquetes se puede aplicar diferentes técnicas, aunque debe tenerse claro que estas agregan un tiempo de retardo adicional en el extremo receptor para el procesamiento y reensamblaje de los mismos, por lo que este debe ser considerado para no producir otros problemas, los métodos propuestos son los siguientes:

- Corrección de errores FEC, por sus siglas en inglés, *Forward Error Control*, el cual envía paquetes de redundancia periódicamente con el propósito de que estos puedan ser utilizados para la corrección en el extremo receptor.
- Recuperación de errores; la cual consiste en utilizar la estadísticas para predecir el valor del paquete perdido con base en los paquetes

previamente recibidos o simplemente agregan un silencio o ruido blanco en el extremo receptor.

4.2. Propuesta para mejorar las características de señalización SIP

En algunos casos no es suficiente la implementación de un diseño de red avanzado para la red de transporte, ya que aún puedan persistir problemas con la calidad de la voz en las llamadas voip.sip, debido a un ancho de banda para la transmisión muy limitado que no puede ser ampliado con facilidad y los puntos de congestión de tráfico que no pueden ser corregidos en su totalidad, por lo tanto se requiere de técnicas de optimización aplicables también a los parámetros de señalización del protocolo SIP, estas técnicas permiten una administración del ancho de banda requerido por una llamada voip.sip, el tipo de corrección de errores utilizado en el extremo receptor y control sobre los efectos de retraso total de los paquetes de voz.

4.2.1. Ancho de banda

Del proceso de codificación de la señal de voz se obtiene el tren de bits que debe ser enviado al equipo receptor a través de la red de transporte para su decodificación, dado que no puede enviarse este tren de bits de forma continua el protocolo RTP toma fragmentos de forma secuencial y de un tamaño definido conocidos como *payload* que luego es etiquetada con las cabeceras correspondientes para ser transportado por la red IP.

Al observar con detenimiento este proceso se puede determinar que el tipo de codificación y el tamaño del *payload* utilizado definen la cantidad de bits que contienen los paquetes que deben ser transportados por la red IP (ver tabla X),

por lo tanto, la selección de estos parámetros dependerá de la situación en la que se requiera establecer la comunicación entre los usuarios, ya que en algunos casos el *codec* no es gratuito, a continuación se enumeran los casos más representativos:

- En un ambiente LAN donde el ancho de banda no representa una dificultad se recomienda el *codec* G.711 con un *payload* de 30 ms.
- En el ambiente de una red empresarial centralizada que utilizan enlaces de datos para alcanzar diferentes sedes de la empresa se recomienda el *codec* G.729 con un *payload* de 30 ms.
- En ambientes con ancho de banda limitado, como el internet, se recomienda el *codec* G.723.1 con un *payload* de 30 ms.

Tabla X. Relación de ancho de banda y payload por codec

Tipo de Codec	Duración de Trama (ms)	Bytes de voz/Trama	Bytes de paquete IP	Bytes de trama Ethernet	Ancho de Banda en LAN (kbps)
G.711 (64 kb/s)	10	80	120	146	116,8
	20	160	200	226	90,4
	30	240	280	306	81,6
G.729 (8 kb/s)	10	10	50	76	60,8
	20	20	60	86	34,4
	30	30	70	96	25,6
G.723.1 (6.3 kb/s)	30	24	64	90	23,9
G.723.1 (5.3 kb/s)	30	20	60	86	22,9

Fuente: JOSKOWICZ, José. *Voz, Video y telefonía sobre IP*. p.18.

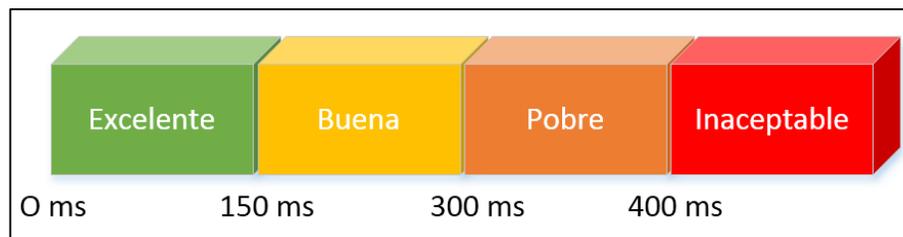
4.2.2. Retraso

En una comunicación voip.sip, el aumento de la latencia o retraso de los paquetes entregados en relación al momento de ser enviado, repercute

directamente sobre la calidad de la conversación entre los usuarios (ver figura 20), el retraso total de un paquete está dado por los siguientes factores:

- Relacionados a la red de transporte: es el tiempo que le toma a la red de transporte IP llevar un paquete desde el extremo transmisor a través de todos los equipos intermedios hasta el extremo receptor, tiempo que es minimizado por medio de las técnicas para evitar los puntos de congestión en la red.
- Relacionados a la aplicación voip.sip: es el tiempo total que le toma a los terminales voip.sip procesar un paquete SIP/RTP, normalmente no aporta mayor cantidad de retraso en relación a los producidos por la red de transporte, pero debe considerarse al momento de la selección del codificador y el *payload*.

Figura 20. **Calidad de voz según la latencia del sistema**



Fuente: HUIDOBRO MOYA, Jose Manuel. *Sistemas de telefonía*. p. 82.

4.2.2.1. **Jitter**

La premisa sobre la que se basa la reconstrucción de la voz en el extremo receptor es que todos los paquetes que contienen una carga útil deben presentarse justo en el orden como han sido enviados, dado que no se utiliza una ruta única en la red de transporte algunos paquetes pueden tomar más o menos

4.3. Propuesta para selección de la aplicación voip.sip *softphone*

Los problemas que afectan una comunicación voip.sip normalmente se deben a las características de la red por la cual se transportan los paquetes de voz o a la selección de parámetros en el protocolo de señalización, sin embargo, dada la gran diversidad de aplicaciones que los usuarios pueden utilizar para conectarse al sistema, la selección adecuada de los requerimientos por parte del aplicativo y la compatibilidad con diferentes plataformas determinará la selección más acertada.

4.3.1. Requerimientos de una aplicación voip.sip

La selección de una aplicación voip.sip dependerá de las funciones que los usuarios necesiten y las restricciones que esta imponga, dado que al ser una herramienta de software permite ser mucho más versátil que un teléfono voip, por lo que se debe considerar lo siguiente:

- Funciones requeridas: entre las funciones más requeridas se encuentran las siguientes:
 - Registro de más de una línea SIP.
 - Conferencia de llamadas.
 - Buzón de voz.
 - Grabación de llamadas.
- Protocolos requeridos: considera los codificadores disponibles, la encriptación de voz, capacidades de *buffer* de *Jitter* y cambios de *payload*.

- Plataforma requerida: ya que las aplicaciones *softphone* son compatibles para computadoras y sistemas embebidos, este parámetro limita a la plataforma de aplicación.
- Costo económico de la aplicación: dado que el modelo de ventas de las aplicaciones voip.sip se basa en liberar funciones o protocolos con base en versiones del producto.

4.3.2. Compatibilidad entre aplicación y plataforma

Para las aplicaciones voip.sip como los softphone que funcionan en dispositivos con hardware no específico, la estabilidad de los parámetros básicos requeridos para mantenerla en funcionamiento demuestran la compatibilidad con la plataforma, los parámetros a tomar en cuenta para determinar la compatibilidad son los siguientes:

- Estabilidad del registro con el servidor SIP.
- Estabilidad de la supervisión de llamadas.
- Disponibilidad para llamada entrante.
- Disponibilidad para llamada saliente.
- Cierres inesperados.
- Consumo de batería.

Para el caso de los dispositivos embebidos, que se basan en sistema operativo android, los fabricantes no acatan un estándar en cuanto al Versionamiento del sistema operativo y al hardware que lo soporta en el proceso de diseño y fabricación, esto provoca que la compatibilidad varíe entre los dispositivos incluso de la misma marca.

Para el caso de dispositivos embebidos basados en IOS la compatibilidad es más estable, pues la fabricación sigue un proceso de estandarizado en cuanto al versionamiento del software y hardware que lo soportan, sin embargo, no todas las aplicaciones son 100% compatibles.

Por lo tanto, la selección de la aplicación que se debe utilizar en un sistema embebido requiere de la observación del comportamiento de las funciones básicas para determinar si su nivel de compatibilidad satisface las necesidades del usuario, pues para usuarios que requieren un uso esporádico la compatibilidad podría ser baja, pero para usuarios que requieren un uso prolongado el nivel de compatibilidad deberá ser alto.

CONCLUSIONES

1. La propuesta de mejora técnica para las llamadas telefónicas de voz sobre IP que utilizan el protocolo SIP como señalización, evidencia que se necesita un mayor soporte para los temas relacionados con la red de transporte IP debido, principalmente a dos razones, la primera es que esta no ha sido diseñada para aplicaciones en tiempo real, y la segunda, es que en todas las implementaciones el recurso de ancho de banda se encuentra limitado a una cantidad finita que debe ser administrado lo mejor posible.
2. El sistema de telefonía tradicional es el resultado del desarrollo de métodos para mejorar y ampliar el servicio según la demanda de los usuarios, este desarrollo ha llevado a la utilización de los protocolos propuestos por la RDSI para el acceso digital y de la SS7 para la señalización, sin embargo, el transporte aún mantiene la condición de reservar recursos de la red con el propósito de transmitir la información de voz por canales dedicados para cada comunicación, esto proporciona calidad en las llamadas, pero resta disponibilidad y aprovechamiento de los recursos en la red de telefonía.
3. Al utilizar la red IP como medio de transporte y el protocolo SIP como herramienta de señalización para las comunicaciones de voz en redes conmutadas por paquetes, se logra una mayor disponibilidad a través de la versatilidad de los dispositivos y los medios de acceso a la red, además de un mejor aprovechamiento de los recursos y esfuerzo al utilizar una sola red para transportar voz y datos.

4. La telefonía voip.sip representa mayores ventajas a los usuarios del sistema desde el punto de vista técnico dado que no depende de una interfaz y un hardware tan restrictivo como los dispositivos de hardware específico utilizados en la telefonía tradicional, más bien permite que aplicaciones de software como los *softphone* se integren a dispositivos como computadoras y sistemas embebidos.

5. Dada la naturaleza de la red de transporte IP las mejoras que pueden ser implementadas a la telefonía voip.sip están estrechamente relacionadas a parámetros como congestión y manejo del ancho de banda, por lo tanto se deben considerar las siguientes mejoras en una red de servicio voip.sip: segmentación por redes virtuales, utilización de servicios diferenciados (DiffServ), administración del ancho de banda por aplicaciones, selección del codificador que mejor se ajuste al tipo de red IP y optimización del *buffer* de memoria para supresión del *Jitter*.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar los métodos descritos para la mejora del servicio de la telefonía voip.sip en una red de datos, proporcionará los criterios para justificar la compra de equipos más robustos y enlaces con mayor capacidad de ancho de banda, de manera que primero pueda ser optimizado el recurso actual, y solo si aún es necesario realizar una ampliación.
2. Elaborar una planificación de la implementación de un servicio voip.sip en una red de datos ordinaria, debe cubrir los requerimientos de capacidad y la evaluación de la red de forma que se identifiquen los posibles puntos de congestión que puedan comprometer el servicio de telefonía voip.sip.
3. Elaborar pruebas de las aplicaciones de software para telefonía voip.sip como los *softphone* en sistemas embebidos (*smartphones* y *tablets*), de acuerdo al modelo y versión del equipo para determinar qué aplicación del mercado se ajusta de mejor manera al sistema operativo utilizado, es decir, que tenga el mejor nivel de compatibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Academia de Networking de Cisco Systems. *Guía del primer año. CCNA 1 y 2*. Cisco Systems, Inc. 3a ed. Madrid: Pearson educación, S. A. 2004. 1008 p.
2. Adslayuda. *Limitar y gestionar el ancho de banda de nuestra red local*. [en línea]. <http://www.adslayuda.com/redes-gestionar_ancho_banda.html>. [Consulta: 30 de mayo de 2016].
3. BRESLIN, Roberto. *Clase 6 unidad 2 sistemas de conmutacion- Señalización SS7 y RDSI-PRI*. [en línea]. <https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=t_50U04fRIw>. [Consulta: 20 de enero de 2016].
4. Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico. *Arquitectura de la red digital de servicios integrados*. Ginebra: Recomendación I.324. 1991. 19 p.
5. _____. *Características técnicas de los tonos para el servicio telefónico*. Reedición de la recomendación E.180 del CCIT publicado en el libro azul fascículo II.2 1988. 14 p.
6. _____. *Procedimientos de alineación de trama y de verificación por redundancia cíclica (VRC) relativos a la estructura de trama básica definidos en la recomendación G.704*. Ginebra: Recomendación G.706. 1991. 47 p.

7. CISCO. *CCNA Exploration 4.0. Networking Academy*. [en línea]. <<http://www.cisco.com/c/en/us/training-events/training-certifications/certifications/associate/ccna-routing-switching.html>>. [Consulta: 8 de febrero de 2016].
8. ALEJOS, Dayvis. *Trasmisión de datos, SS7 y RDSI*. [en línea]. <<http://deyvis-alejos.blogspot.com/2014/03/ss7-y-rdsi.html>>. [Consulta: 20 de enero de 2016].
9. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. *Conmutación Telefónica*. [en línea]. <<http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/ittst/rc1/download/T4/T4.pdf>>. [Consulta: 2 de diciembre de 2015].
10. EFORT. *El protocolo ISUP*. [en línea]. <http://www.efort.com/media_pdf/ISUP_ES_EFORT.pdf>. [Consulta: 27 de enero de 2016].
11. HUIDOBRO MOYA, Jose Manuel. *Sistemas de telefonía*. 5a ed. Madrid: Paraninfo, 2006. 491 p. ISBN: 8428329273.
12. _____. *Tecnología VoIP y telefonía IP*. 3a ed. México: Alfaomega, 2006. 311 p. ISBN: 970151207.
13. LACAYO CRUZ, Edwin R. *Sistemas de señalización de la red telefónica* [en línea]. <<http://docplayer.es/3681633-Sistema-de-senalizacion-de-red-telefonica.html>>. [Consulta: 20 de febrero de 2016].
14. IP Reference. *Ancho de banda y Throughput*. [en línea]. <<http://www.ipref.info/2009/11/ancho-de-banda-y-throughput.html>>. [Consulta: 30 de mayo de 2016].

15. GONZÁLEZ, Jarvey. *Conmutación de circuitos y paquetes*. [en línea]. <<http://es.slideshare.net/jarvey4/conmutacion-de-circuitos-y-paquetes>>. [Consulta: 17 de marzo de 2016].
16. OLIFER, Natalia. *Redes de computadoras*. México: McGraw_Hill, 2009. 751 p. ISBN: 978-970-10-7249-3.
17. PBX-Central telefónica. [en línea]. <<http://elastixtech.com/fundamentos-de-telefonía/pbx-central-telefonica/>>. [Consulta: 23 de noviembre de 2015]
18. Performance Technologies. *Tutorial on Signaling System 7 (SS7)*. [en línea]. <http://www.eurecom.fr/~dacier/Teaching/Eurecom/Intro_computer_nets/Recommended/ss7.pdf>. [Consulta: 22 de enero de 2016].
19. MILLÁ TEJEDOR, Ramón Jesús. *RDSI (Red Digital de Servicios Integrados)*. [en línea]. Monografias.com, trabajos 64, 2008 <<http://www.ramonmillan.com/tutoriales/rdsi.php>>. [Consulta: 9 de diciembre de 2015].
20. Sector de la Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. *Especificación de la capa 1 de la interfaz usuario-red a velocidad primaria*. Recomendación UIT-T I.430. 1995. 106 p.
21. _____. *Especificación de la capa 1 de la interfaz usuario-red básica*. Recomendación UIT-T I.431. 1993. 43 p.

22. _____. *Estructuras de trama síncrona utilizadas en los niveles jerárquicos 1544, 6312, 2048, 8448 y 44736 Kbits/s.* Recomendación UIT-T G.704. 1998. 47 p.
23. _____. *Interfaz usuario-red de la RDSI – especificación de la capa de enlace de datos.* Recomendación UIT-T Q.921. 1997. 50 p.
24. _____. *Modulación por impulsos codificados (MIC) de frecuencias vocales.* Recomendación UIT-T G.711 Fascículo III.4 del libro azul. 12 p.
25. TutorialPoints. *IPv4 direcciones reservadas.* [en línea]. <http://www.tutorialspoint.com/es/ipv4/ipv4_reserved_addresses.html>. [Consulta: 17 de febrero de 2016].
26. Universidad Pública de Navarra, área de ingeniería telemática. *Arquitectura de redes, sistemas y servicios.* [en línea]. <https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/arss/arss10_11/slides/22-ConmutadoresCircuitos.pdf>. [Consulta: 2 de diciembre de 2015].