



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ESTUDIO DETALLADO DE LOS PROTOCOLOS SIP, H.323 Y OTROS
PARA LA SEÑALIZACIÓN EN VoIP: ESTADO ACTUAL Y FUTURO”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ricardo Xavier Gutiérrez Cevallos

Guayaquil – Ecuador

2014

AGRADECIMIENTO

Ante todo a Dios por permitir que culmine con éxito esta etapa de mi vida, a mis padres por guiarme y brindarme la oportunidad de una excelente educación, mi abuela por estar siempre a mi lado, a mis hermanos y a mi tía, quienes siempre me dieron fuerzas para continuar.

Al PhD. Álvaro Suárez Sarmiento, quien siempre confió en mí y estuvo presto para brindarme su ayuda.

Un agradecimiento especial a la Madre Dolorosa y al Niño Divino, pues siempre me iluminaron para alcanzar mis objetivos.

Ricardo Gutiérrez Cevallos

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia, en especial a la Ing. Ángela Cevallos Ponce, quien no sólo es mi madre sino la persona más importante de mi vida; cuyo camino que ha forjado me ha servido como pauta para soñar, alcanzar y nunca desmayar en todo aquello que me proponga en la vida.

Dedicatoria especial a mis cachorros, quienes son símbolos de mi felicidad.

Ricardo Gutiérrez Cevallos

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Boris Vintimilla Burgos, PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Álvaro Suárez Sarmiento, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

Boris Ramos Sánchez, PhD.

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).

Ricardo Xavier Gutiérrez Cevallos

RESUMEN

El presente trabajo establece un análisis sobre el estado actual y futuro de los protocolos de señalización de la *Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP)*, y de acuerdo a la necesidad con la cual se ha abarcado el estudio se lo ha dividido en cinco etapas.

En el Capítulo 1 se establece las primicias bajo las cuales se ha estructurado el estudio, incluyendo objetivos, preguntas directrices, modalidad de la investigación y resultados esperados.

En el Capítulo 2 se abarcan los fundamentos teóricos relacionados con los aspectos básicos de la comunicación telefónica tradicional, así como los cambios tecnológicos que ha experimentado la telefonía hasta el nacimiento de la tecnología VoIP.

En el Capítulo 3 se hace especial énfasis en los protocolos de señalización empleados en VoIP.

El Capítulo 4 se enfoca en los retos que se deben considerar en el despliegue de servicios basados en VoIP. Además se analizó detalladamente la proyección que presentarían los protocolos de

señalización de VoIP en el futuro, de acuerdo a la tendencia que estos han mostrado en los últimos años.

En el Capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos, con los cuales se realizó un análisis desde el punto de vista comercial, regulatorio y científico, para finalmente establecer las respectivas conclusiones.

Palabras claves: VoIP, *Protocolo de Inicio de Sesión (SIP)*, H.323, *Protocolo de Control de Pasarela de Medios (MGCP)*, MEGACO, *Intercambio Entre Asterisk (IAX)*.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXIII
ÍNDICE DE TABLAS	XXIV
INTRODUCCIÓN.....	XXV
CAPÍTULO 1 MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.2 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TEMA.....	5
1.3.1 Definición del Tema	5
1.3.2 Planteamiento del Problema	5
1.4 MOTIVACIÓN.....	6
1.5 JUSTIFICACIÓN	7
1.6 DECLARACIÓN DE PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.7 OBJETIVOS.....	10
1.7.1 Objetivo General	10
1.7.2 Objetivos Específicos.....	10
1.8 ALCANCES.....	11
1.9 LIMITACIONES.....	11

1.10	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.10.1	Tipo de Investigación	12
1.10.2	Enfoque.....	12
1.10.3	Técnica.....	13
1.10.4	Modalidad de Recopilación de Información	13
1.10.5	Resultados Esperados.....	15
1.10.6	Elementos Diferenciadores e Innovadores de la Investigación... ..	15
	CAPÍTULO 2 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA VOIP	16
2.1	GENERALIDADES DE LA TELEFONÍA	17
2.1.1	Introducción a los Sistemas de VoIP	19
2.2	FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS VOIP	32
2.2.1	Proceso de Codificación de Voz	33
2.2.2	CODECs Utilizados en VoIP	35
2.3	PROTOSCOLOS DE SOPORTE VOIP	37
2.3.1	Introducción a los Protocolos de Señalización VoIP	38
2.3.2	Protocolos de Transporte de Voz.....	39
2.4	CONSIDERACIONES DE LA QOS EN LA VOIP	41
2.5	VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA VOIP	43
2.6	TECNOLOGÍAS COMERCIALES EXISTENTES DE VOIP	46
	CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN DE VOIP	50
3.1	PROTOCOLO H.323	50
3.1.1	Características de H.323.....	51
3.1.2	Elementos y Funcionalidad de H.323	53
3.1.3	Arquitectura H.323.....	56
3.2	PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN	61
3.2.1	Características de SIP	62
3.2.2	Elementos y Funcionalidad de SIP	63
3.2.3	Protocolos relacionados directamente con SIP	68

3.2.4 Mensajes SIP.....	69
3.3 PROTOCOLO DE CONTROL DE PASARELA DE MEDIOS	72
3.3.1 Características de MGCP	73
3.3.2 Elementos y Funcionalidad de MGCP	74
3.3.3 Protocolos relacionados directamente con MGCP	77
3.3.4 Órdenes del Protocolo MGCP.....	78
3.4 PROTOCOLO MEGACO.....	79
3.4.1 Características de MEGACO	79
3.4.2 Arquitectura MEGACO.....	81
3.4.3 Órdenes de MEGACO	83
3.5 PROTOCOLO DE INTERCAMBIO ENTRE ASTERISK	87
3.5.1 Características de IAX	87
3.5.2 Elementos y Funcionalidad de IAX	89
3.5.3 Órdenes del Protocolo IAX.....	91
CAPÍTULO 4 FUTURO DE LA VOIP.....	95
4.1 CALIDAD DE SERVICIO.....	95
4.2 TRADUCCIÓN DE DIRECCION DE RED	101
4.3 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD	107
4.4 PROTOCOLO DE INTERNET VERSIÓN 6.....	114
4.5 REDES DE NUEVA GENERACIÓN	119
4.6 FUTURO DE LOS PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN DE VOIP.....	129
CAPÍTULO 5 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	138
5.1 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	139
5.2 ANÁLISIS DEL FUTURO DE LA VOIP EN EL AMBITO COMERCIAL.	139
5.3 ANÁLISIS DEL FUTURO DE LA VOIP EN EL MARCO REGULATORIO.....	144
5.4 ANÁLISIS DEL FUTURO DE LA VOIP DESDE UN ENFOQUE CIENTÍFICO – TÉCNICO	149
5.5 DISCUSIÓN.....	166

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

1G	Primera Generación
2.5G	Red de Telefonía Móvil de Segunda Generación Mejorada GPRS
2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
3GPP	Proyecto de Asociación de Tercera Generación, del inglés 3rd Generation Partnership Project
4G	Cuarta Generación
ADC	Convertidor de Analógico a Digital, del inglés Analog to Digital Converter
ADPCM	Modulación Diferencial Adaptativa por Codificación de Pulsos, del inglés Adaptive Differential Pulse Code Modulation
AES	Estándar de Cifrado Avanzado, del inglés Advanced Encryption Standard
AGW	Pasarela de Acceso del inglés Access Gateway
AMPS	Sistema Telefónico Móvil Avanzado, del inglés Advanced Mobile Phone System Announcement Protocol
API	Interfaz de Programación de Aplicación, del inglés Application Programming Interface
ASN.1	Resumen de Sintaxis de Notación Uno, del inglés Abstract Syntax Notation One
ATM	Modo de Transferencia Asíncrono, del inglés Asynchronous Transfer Mode
BER	Tasa de Error de Bit, del inglés Bit Error Rate
CA	Agente de Llamada, del inglés Call Agent
CFM	Convergencia Fija – Móvil

CMSI	Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información
CODEC	Codificador/Decodificador, del inglés Coder/Decoder Control Unit
CSTA	Direcciones de Transporte de Señalización de Llamada, del inglés Call Signaling Transport Address
DAC	Convertidor de Digital a Analógico, del inglés Digital to Analog Converter
DASS 2	Sistema de Señalización de Acceso Digital 2, del inglés Digital Access Signaling System 2
DES	Estándar De Cifrado de Datos, del inglés Data Encryption Standard
DiffServ	Servicios Diferenciados, del inglés Differentiated Services
DNS	Sistema de Nombres de Dominio, del inglés Domain Name System
DoS	Denegación de Servicio, del inglés Denial of Service
DPNSS	Sistema de Señalización de Red Digital Privada, del inglés Digital Private Network Signaling System
DSC	Controlador de Señalización Diámetro, del inglés Diameter Signalling Controller
DSCP	Punto de Código de Servicios Diferenciados, del inglés Differentiated Services Code Point
DSL	Línea de Abonado Digital, del inglés Digital Subscriber Line
DTLS	Capa de Transporte de Datagramas de Seguridad, del inglés Datagram Transport Layer Security
DTMF	Multifrecuencia con Doble Tono, del inglés Dual Tone Multifrequency
DUA	Adaptación del Usuario DPNSS 1/DASS 2, del inglés DPNSS 1/DASS 2 User Adaptation
EP	Punto Final, del inglés End Point
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral

ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, del inglés European Telecommunication Standards Institute
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia, del inglés Frequency Division Multiple Access
FIEC	Facultad de Ingeniería de Electricidad y Computación
GK	Gatekeeper
GMPLS	Multiprotocolo de Conmutación por Etiquetas Generalizado, del inglés Generalised Multiprotocol Label Switching
GPRS	Servicio General de Radio por Paquetes, del inglés General Packet Radio Service
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles, del inglés Global System for Mobile Communications
GW	Pasarela, del inglés Gateway
HTML	Lenguaje de Marcas de Hipertexto, del inglés HyperText Markup Language
HTML5	Lenguaje de Marcado de Hipertexto versión 5, del inglés HyperTextMarkupLanguageversion 5
HTML5	Lenguaje de Marcas de Hipertexto versión 5, del inglés HyperText Markup Language version 5
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto, del inglés Hypertext Transfer Protocol
IANA	Autoridad de Números Asignados de Internet, del inglés Internet Assigned Numbers Authority
IAX	Intercambio entre Asterisk, del inglés Inter-Asterisk eXchange
IETF	Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet, del inglés Internet Engineering Task Force
IMS	Subsistema Multimedia de IP, del inglés IP Multimedia Subsystem
IMS-MG	Pasarela de Medios - IMS, del inglés IMS Media Gateway

IMT-Advanced	Telecomunicaciones Móviles Internacionales Avanzadas, del inglés International Mobile Telecommunications – Advanced
INAP	Protocolo de Aplicación de Red Inteligente, del inglés Intelligent Network Application Protocol
IntServ	Servicios Integrados, del inglés Integrated Services
IoT	Internet de las Cosas, del inglés Internet of Things
IP	Protocolo de Internet, del inglés Internet Protocol
IPDC	Control de Dispositivo de Protocolo de Internet, del inglés Internet Protocol Device Control
IPng	Protocolo de Internet de Próxima Generación, del inglés Internet Protocol Next Generation
IPsec	Protocolo de Seguridad de Internet, del inglés Internet Protocol Security
IPTV	Televisión por Protocolo de Internet, del inglés Internet Protocol Television
IPv4	Protocolo de Internet versión 4, del inglés Internet Protocol version 4
IPv6	Protocolo de Internet versión 6, del inglés Internet Protocol version 6
ISUP	Parte de Usuario de la RDSI, del inglés ISDN User Part
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones, del inglés International Telecommunications Union
IUA	Capa de Adaptación del Usuario ISDN, del inglés ISDN User Adaptation Layer
IVR	Respuesta Interactiva de Voz, del inglés Interactive Voice Response
LAN	Red de Área Local, del inglés Local Area Network
LTE	Evolución a Largo Plazo, del inglés Long Term Evolution
M2PA	Capa de Adaptación del Usuario Punto a Punto MTP2, del inglés MTP2 Peer-to-Peer User Adaptation Layer

M2UA	Capa de Adaptación del Usuario MTP2, del inglés MTP2 User Adaptation Layer
M3UA	Capa de Adaptación del Usuario MTP3, del inglés MTP3 User Adaptation Layer
MANET	Red Móvil Ad-hoc, del inglés Mobile Ad-hoc Network
MAP	Parte de Aplicación Móvil, del inglés Mobile Application Part
Mbone	Trocal de Multidifusión, del inglés Multicast Backbone
MC	Controlador Multipunto, del inglés Multipoint Controllater
MCU	Unidad de Control Multipunto, del inglés Multipoint
MD5	Algoritmo de Síntesis del Mensaje 5, del inglés Message-Digest Algorithm 5
MDCP	Protocolo de Control de Dispositivo de Medios, del inglés Media Device Control Protocol
MG	Pasarela de Medios, del inglés Media Gateway
MGC	Controlador de Pasarela de Medios, del inglés Media Gateway Controller
MGCF	Función de Control de Pasarela de Medios, del inglés Media Gateway Control Function
MGCP	Protocolo de Control de Pasarela de Medios, del inglés Media Gateway Control Protocol
MitM	Intermediario, del inglés Man-in-the-middle
MMS	Servicio de Mensajería Multimedia, del inglés Multimedia Messaging Service
MMUSIC	Control de Sesión Multimedia Multipartidaria, del inglés Multiparty Multimedia Session Control
MOS	Puntuación Media de Opinión, del inglés Mean Opinion Score
MP	Procesador Multipunto, del inglés Multipoint Processor
MPLS	Multiprotocolo de Conmutación por Etiquetas, del inglés Multi Protocol Label Switching

MSDES	Más SDES, del inglés More SDES
MTP1	Parte de Transferencia de Mensaje 1, del inglés Message Transfer Part 1
MTP2	Parte de Transferencia de Mensaje 2, del inglés Message Transfer Part 2
MTP3	Parte de Transferencia de Mensaje 3, del inglés Message Transfer Part 3
NAPT	Traducción de Dirección de Red y Puerto, del inglés Network Address and Port Translation
NAT	Traducción de Dirección de Red, del inglés Network Address Translation
NGN	Red de Próxima Generación, del inglés Next Generation Network
OFDMA	Múltiple Acceso por División de Frecuencia Ortogonal, del inglés Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PA	Agente de Presencia, del inglés Presence Agent
PBX	Central Privada de Conmutación, del inglés Private Branch Exchange
PCM	Modulación por Codificación de Pulsos, del inglés Pulse Code Modulation
PDA	Asistente Personal Digital, del inglés Personal Digital Assistant
PHB	Comportamiento por Salto, del inglés Per-Hop Behavior
POTS	Servicio Telefónico Ordinario Antiguo, del inglés Plain Old Telephone Service
PSN	Red de Conmutación de Paquetes, del inglés Packet-Switched Network
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada, del inglés Public Switched Telephone Network
QoE	Calidad de Experiencia, del inglés Quality of Experience
QoS	Calidad de Servicio, del inglés Quality of Service

RAS	Registro, Admisión y Estado, del inglés Registration, Admission and Status
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados, del inglés Integrated Services Digital Network
RFC	Petición de Comentarios, del inglés Request for Comments
RSA	Nombrado por las letras iniciales de los apellidos de sus autores: Rivest, Shamir y Adleman
RSVP	Protocolo de Reserva de Recursos, del inglés Resource Reservation Protocol
RTB	Red Telefónica Básica
RTC	Red Telefónica Clásica
RTCP	Protocolo de Control de RTP, del inglés RTP Control Protocol
RTP	Protocolo de Transporte en Tiempo Real, del inglés Real-time Transport Protocol
RTSP	Protocolo de Flujo de Medios en Tiempo Real, del inglés Real Time Streaming Protocol
S/MIME	Extensiones de Correo de Internet de Propósitos Múltiples / Seguro, del inglés Secure / Multipurpose Internet Mail Extensions
SAP	Protocolo de Anuncio de Sesión, del inglés Session
SBC	Controlador de Frontera de Sesión, del inglés Session Border Controllers
SCCP	Parte de Control de la Conexión de Señalización, del inglés Signalling Connection Control Part
SCN	Red de Conmutación de Circuitos, del inglés Switched Circuit Network
S-CSCF	Servicio para la Función de Control de Sesión de Llamada, del inglés Serving – Call State Control Function

SCTP	Protocolo de Control de Transmisión de Flujo, del inglés Stream Control Transmission Protocol
SDES	Descripciones de Seguridad para el Protocolo de Descripción de Sesión, del inglés Session Description Protocol Security Descriptions
SDH	Jerarquía Digital Síncrona, del inglés Synchronous Digital Hierarchy
SDN	Redes Definidas por Software, del inglés Software-Defined Networking
SDP	Protocolo de Descripción de Sesión, del inglés Session Description Protocol
SG	Pasarela de Señalización, del inglés Signaling Gateway
SG12	Grupo de Estudio 12, del inglés Study Group 12
SG13	Grupo de Estudio 13, del inglés Study Group 13
SG16	Grupo de Estudio 16, del inglés Study Group 16
SGCP	Protocolo Simple de Control de Puerta de Enlace, del inglés Simple Gateway Control Protocol
SigComp	Compresión de Señalización, del inglés Signaling Compression
SIGTRAN	Señalización de Transporte, del inglés Signaling Transport
SIP	Protocolo de Inicio de Sesión, del inglés Session Initiation Protocol
SLA	Acuerdo de Nivel de Servicio, del inglés Service Level Agreement
SMS	Servicio de Mensajes Cortos, del inglés Short Message Service
SONET	Red Óptica Síncrona, del inglés Synchronous Optical Network
SRTP	Protocolo Seguro de Transporte en Tiempo Real, del inglés Secure Real-time Transport Protocol

SS7	Sistema de Señalización número 7, del inglés Signaling System No .7
STUN	Sesión Transversal de Utilidades para NAT, del inglés Session Traversal Utilities for NAT
SUA	Capa de Adaptación del Usuario SCCP, del inglés SCCP User Adaptation Layer
TCAP	Parte de Aplicación de Capacidades de Transacción, del inglés Transaction Capabilities Application Part
TCP	Protocolo de Control de Transmisión, del inglés Transmission Control Protocol
TDES	Triple DES, del inglés Triple DES
TDM	Multiplexación por División de Tiempo, del inglés Time-Division Multiplexing
TE	Ingeniería de Tráfico, del inglés Traffic Engineering
TGW	Pasarela como Red Troncal, del inglés Trunking Gateway
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TISPAN	Telecomunicaciones e Internet convergente de Servicios y Protocolos para Redes Avanzadas, del inglés Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking
TLS	Seguridad en la Capa de Transporte, del inglés Transport Layer Security
T-SGW	Pasarela de Señalización como Red Troncal, del inglés Trunking Signaling Gateway
TUP	Parte de Usuario de Telefonía, del inglés Telephone User Part
UA	Agente de Usuario, del inglés User Agent
UAC	Agente de Usuario del Cliente, del inglés User Agent Client
UAS	Agente de Usuario del Servidor, del inglés User Agent Server

UC	Comunicaciones Unificadas, del inglés Unified Communications
UDP	Protocolo de Datagramas de Usuario, del inglés User Datagram Protocol
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, del inglés Universal Mobile Telecommunications System
URI	Identificador de Recursos Uniforme, del inglés Uniform Resource Identifier
V5UA	Capa de Adaptación del Usuario V5.2, del inglés V5.2-User AdaptationLayer
VAD	Detección de Actividad de Voz, del inglés Voice Activity Detection
VANET	Red Vehicular Ad-hoc, del inglés Vehicular Ad-Hoc Network
VBR	Tasa de Bits Variable, del inglés Variable Bit Rate
VoIP	Voz sobre Protocolo de Internet, del inglés Voice over Internet Protocol
VoIPv6	Voz sobre Protocolo de Internet versión 6, del inglés Voice over Internet Protocol version 6
VoLTE	Voz sobre Evolución a Largo Plazo, del inglés Voice over Long Term Evolution
VPN	Red Virtual Privada, del inglés Virtual Private Network
WAN	Red de Área Amplia, del inglés Wide Area Network
WAP	Protocolo de Aplicación Inalámbrica, del inglés Wireless Application Protocol
WebRTC	Comunicación en Tiempo Real para Web, del inglés Web Real-Time Communication
WiFi	Fidelidad Inalámbrica, del inglés Wireless Fidelity
WiMAX	Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas, del inglés Worldwide Interoperability for Microwave Access

XML	Lenguaje de Marcas Extensible, del inglés Extensible Markup Language
ZRTP	Extensión del Protocolo de Transporte en Tiempo Real

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Arquitectura del Estándar SS7.....	24
Figura 2.2	Proceso de Codificación de la Voz	34
Figura 3.1	Esquema de la Arquitectura del Protocolo H.323.....	53
Figura 3.2	Arquitectura de Protocolos H.323	56
Figura 3.3	Esquema de Funcionamiento de los Servidores SIP	67
Figura 3.4	Situación del Protocolo SIP en la Arquitectura de Protocolos de Internet.....	68
Figura 3.5	Funcionamiento del Protocolo MGCP	76
Figura 3.6	Protocolos relacionados con MGCP	77
Figura 3.7	Interacción entre el MGC y el MG en H.248	82
Figura 3.8	Esquema de la Arquitectura del Protocolo MEGACO	83
Figura 3.9	Esquema del Protocolo IAX.....	89
Figura 4.1	Esquema de Funcionamiento de NAT	102
Figura 4.2	Arquitectura de una NGN.....	123
Figura 4.3	Funcionamiento IMS en NGN	124
Figura 5.1	Esquema SIP Social para Redes 4G.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Algoritmos de Compresión de Voz.....	35
Tabla 3.1 CODECs soportados en el Protocolo H.323	57
Tabla 3.2 Servicios Suplementarios de H.323	60
Tabla 3.3 Métodos SIP.....	70
Tabla 3.4 Extensiones de Métodos SIP	71
Tabla 3.5 Respuestas SIP	72
Tabla 3.6 Órdenes del Protocolo MGCP.....	78
Tabla 3.7 Descriptores del Protocolo H.248.....	84
Tabla 3.8 Órdenes API del Protocolo H.248	86
Tabla 3.9 Mensajes del Protocolo IAX.....	91
Tabla 4.1 Protocolos SIGTRAN	126
Tabla 4.2 Proyección de los Protocolos de Señalización de VoIP	137

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones se han convertido en la raíz del mundo moderno, pues son y serán un factor esencial en el acelerado desarrollo de la Humanidad; ayudando a mejorar a la Sociedad en diversos ámbitos con el simple hecho de potenciar su capacidad de comunicarse.

Bajo esta perspectiva se entabló un análisis sobre la VoIP, por tratarse de una de las tecnologías de telecomunicaciones más influyente de los últimos años. Este documento se realizó con la finalidad de establecer una guía sobre la realidad de la VoIP y tecnologías subyacentes, así como el estado actual y futuro de los protocolos de señalización utilizados en la VoIP, mediante el cual se pretende responder varias interrogantes planteadas a partir del desarrollo del tema.

El estudio consiste en un trabajo científico que permite analizar la problemática desde un enfoque descriptivo, empleando la técnica de comparación descriptiva. Y mediante los resultados obtenidos se emitieron opiniones que permitieron establecer conclusiones.

CAPÍTULO 1

MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Desde hace unos años se presenta un acelerado incremento en la demanda de aplicaciones que requieren videoconferencias, multimedia y respuestas en tiempo real por parte de usuarios de Internet y Redes privadas, lo que ha generado que las tecnologías para comunicarse se mantengan en constante evolución.

Las tecnologías que utilizan las Redes basadas en el *Protocolo de Internet (IP)* para ofrecer comunicaciones de voz son en las que más se ha trabajado, debido a su conocido potencial para apoyar la innovación y el mejoramiento

continuo de las comunicaciones dentro de los países en desarrollo y en todo el mundo; siendo la VoIP uno de los servicios de mayor demanda [1].

Sin duda, la señalización en la *Red Telefónica Clásica (RTC)* ha experimentado muchos cambios, evolucionando los sistemas de señalización para el transporte de voz desde las *Redes de Conmutación de Circuitos (SCNs)* a *Redes de Paquetes Conmutados (PSNs)*. Este escenario es el principio de lo que se conoce como VoIP, tecnología en la que la voz se transporta por medio de IP. Alba y otros (2005) explican como el tráfico telefónico ha evolucionado hasta el punto de implementar un sin número de aplicaciones que funcionan sobre Internet [2]. Además, existen estudios que establecen la importancia de la VoIP mediante una reseña de su pasado, presente y futuro [3, 4].

Esta homogeneización es posible gracias a un sin número de protocolos que han surgido para tratar de solventar problemas de direccionamiento, interconexión con Redes existentes, intercambio de capacidades, control de admisión... Estos estándares son responsables de la señalización para el correcto funcionamiento del sistema.

En este punto, a través de la revisión de literatura se recopilaron trabajos relacionados con los protocolos de señalización utilizados en la VoIP, como

el de Prasad y otros (2005), que realizan un estudio comparativo entre SIP e IAX [5], o como la investigación comparativa relacionada con SIP y H.323 [6], o el estudio de Haiyang y otros (2008), el cual intenta conocer una conversión entre SIP y H.323, pues asevera que son los protocolos más utilizados y es necesario lograr esta conversión para la adaptación de aplicaciones que no trabajan con ambos estándares [7].

En cambio, Cycon y otros (2009) realizan un trabajo concerniente a videoconferencias multipunto con autenticación, en el cual se indica que SIP es capaz de soportar tanto el *Protocolo de Internet versión 4 (IPv4)* como el *Protocolo de Internet versión 6 (IPv6)*, no así H.323 que sólo soporta IPv4 [8]. Así mismo existen estudios, tales como el de Zhang y otros 2010, en el que realiza una investigación basada en la aplicación e implementación de SIP en una *Red de Próxima Generación (NGN)* [9], las cuales están basadas en el criterio de "Todo IP" (*All IP*), pues según Moreno y otros (2001) la tendencia a la cual nos dirigimos es a la de integrar diferentes Redes en la única Red denominada IP [10].

1.2 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Las aplicaciones de voz, datos y vídeo se han convertido en herramientas claves para la comunicación entre personas. La más destacada es la tecnología VoIP, que permite que las Redes originalmente diseñadas para el

trasporte de datos planos (sin semántica compleja asociada a ellos tales como voz, imagen...), puedan al mismo tiempo ser utilizadas para la comunicación multimedia; para lograr dicha integración de servicios se requiere de mecanismos y protocolos especiales. Entre los protocolos utilizados para la VoIP destacan los protocolos de señalización, que se encargan de crear, modificar y terminar sesiones con uno o más participantes de una sesión multimedia.

Gracias a este desarrollo de tecnologías de comunicación, día con día surge la necesidad en las personas de conocer más sobre los elementos involucrados en el funcionamiento de dichas tecnologías; es así como nace el interés y la necesidad de facilitar información sobre la tecnología VoIP y a la vez proporcionar guías de implementación que faciliten al usuario su comprensión y uso.

El desarrollo de este proyecto permite dar a conocer los aspectos importantes de los protocolos de señalización empleados en la VoIP; de tal manera que la relevancia del estudio subyace en conceder aportes teóricos significativos sobre el estado actual y futuro de estos estándares.

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TEMA

Se pretende abarcar el desarrollo que ha experimentado la VoIP hasta la actualidad, realizando un estudio exhaustivo de los protocolos de señalización de VoIP.

1.3.1 Definición del Tema

Estudio detallado de SIP, H.323 y otros protocolos para señalización en VoIP: estado actual y futuro.

1.3.2 Planteamiento del Problema

Desde la década de 1990, la VoIP ha estado expuesta a constante evolución, siendo creada para transportar comunicación de voz a través de Internet cuya *Calidad de Servicio (QoS)* está garantizada mediante el uso del Sistema de *Señalización número 7 (SS7)* [11]. Por consiguiente, la VoIP proporciona la posibilidad de hacer converger Redes de voz y datos planos con el fin de reducir costos, presentar un mejor aprovechamiento del ancho de banda e integrar aplicaciones de voz, datos planos y vídeo.

Aplicar este nuevo esquema de comunicación implica el uso de protocolos de señalización, tales como: H.323, SIP, MGCP, MEGACO e IAX, los cuales se encargan del correcto funcionamiento de esta tecnología [12, 13, 14].

Debido al desarrollo tecnológico acelerado, al continuo despliegue de nueva infraestructura, junto con limitaciones técnicas de ciertos protocolos de señalización, produce la necesidad de conocer en detalle cada uno de estos protocolos. Sin embargo, uno de los problemas más importantes es la carencia de estudios que sirvan como referencias, que pongan en conocimiento las implicaciones que abarca el uso de cada protocolo de señalización en VoIP, y que ayuden a conocer cuáles son los protocolos más eficientes en la actualidad y con mayor capacidad de adaptarse a futuras implementaciones y aplicaciones.

Por lo tanto, este estudio consiste en la descripción de los protocolos utilizados para la señalización en VoIP, en el que se discutirá sus características, fortalezas y limitaciones; y finalmente en base a este análisis se intentará pronosticar el desarrollo de estos estándares en el futuro.

1.4 MOTIVACIÓN

Durkin (2010) opina que los proveedores de servicios del Mundo están migrando su infraestructura basada en *Multiplexación por División de Tiempo (TDM)* a IP, con la finalidad de aprovechar esta tecnología para entregar el tráfico de voz [15]. Esta acción se produce como consecuencia del importante ahorro que se genera al utilizar Internet, el aumento del tráfico de

voz y las estrategias de negocio; opciones que no pueden ser explotadas con las tradicionales Redes TDM.

Aplicar esta nueva tecnología implica el uso de protocolos de señalización, los cuales se encargan de su correcto funcionamiento. Sin embargo, existen un sinnúmero de protocolos que pueden ser empleados para llevar a cabo este fin, pero éstos deben ser utilizados dependiendo de la infraestructura, aplicación y objetivos que se desean lograr.

Por tales circunstancias es indispensable conocer las características y limitaciones que abarca cada uno de estos protocolos, siendo ésta la principal motivación para la realización del estudio.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La transición que eventualmente están dando las comunicaciones telefónicas y multimedia a tecnología VoIP, hace necesario que las personas involucradas en la implementación de esta tecnología posean los conocimientos sobre aspectos tan importantes como los protocolos de señalización, especialmente conocer el funcionamiento, sus características, debilidades y posible desarrollo de cada uno de ellos para adaptaciones a nuevas tecnologías en el futuro, ya que todo apunta a que en los próximos años todo convergirá como fin a Internet con el despliegue de infraestructura

de NGN, por lo que el desarrollo del presente trabajo es importante ya que se logra involucrar a la comunidad científica con la aportación de un estudio que enmarca la descripción de los protocolos de señalización de VoIP y su adaptación en el futuro.

Toda la información proporcionada serviría de referencia para interpretarla con el sustento científico y profesional, con lo que se pretende responder interrogantes que guiarán a la solución del problema.

Además, este proyecto pretende servir como referencia a futuras investigaciones para el desarrollo de servicios y aplicaciones que involucren a la VoIP.

1.6 DECLARACIÓN DE PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Como se ha expuesto en la sección 1.1 se han desarrollado un sinnúmero de investigaciones, en las que se han pretendido aclarar dudas que surgieron a partir de la importancia del desarrollo de la tecnología de VoIP, y las cuales son producto de debates que intentan establecer a los protocolos de señalización más eficientes y solventes según sus características de evolución.

A partir de la revisión de literatura realizada para este trabajo, se han planteado las siguientes preguntas directrices, las mismas que buscarían ser respondidas mediante el desarrollo de la investigación:

1. ¿En los próximos años todas las Redes serán basadas en VoIP?
2. ¿Desaparecerá o permanecerá vigente la VoIP en la industria de las telecomunicaciones?
3. ¿Cuál es el protocolo de señalización óptimo en la actualidad para el desarrollo de la tecnología de VoIP?
4. ¿Qué protocolos de señalización de VoIP seguirán en vigencia en los próximos años?
5. ¿Cuál es el protocolo de señalización óptimo para el desarrollo en el futuro de la tecnología de VoIP?
6. ¿En que afecta el despliegue de Redes IPv6 a la VoIP?
7. ¿Tiene futuro el concepto de NGN?
8. ¿Cuál es el estado regulatorio actual de la VoIP en el mundo?
9. ¿En el futuro serán todas las Redes “All IP”, dejando sin vigencia el concepto de NGN?
10. ¿Qué ocurrirá con SIP y las Redes de *Cuarta Generación (4G)*?
11. ¿Qué nuevos avances tecnológicos se están desarrollando en el sector de las telecomunicaciones?
12. ¿La *Comunicación en Tiempo Real para Web (WebRTC)* reemplazará a la VoIP?

1.7 OBJETIVOS

A continuación se detalla el objetivo general y se enlistan los objetivos específicos en los que está enfocado el trabajo.

1.7.1 Objetivo General

Investigar de forma comparativa los Protocolos de Señalización de VoIP.

1.7.2 Objetivos Específicos

1. Conocer acerca de la evolución de las Redes de VoIP.
2. Establecer los principios que sigue la señalización IP.
3. Analizar los diferentes protocolos de señalización que son utilizados en la VoIP, describir su funcionamiento y aplicaciones.
4. Analizar adaptabilidad de los protocolos con nueva infraestructura, como el despliegue de NGN.
5. Analizar utilidad de los protocolos en el futuro, compatibilidad con nuevas aplicaciones y aceptación en el mercado.
6. Predecir el estado futuro de los protocolos de señalización de la VoIP.
7. Analizar el estado futuro de la tecnología de VoIP.
8. Determinar cuál es el protocolo óptimo para el desarrollo futuro de las Redes de VoIP.

1.8 ALCANCES

Se establece el alcance de la investigación definiendo lo que se pretende ésta sea y lo que no se pretende que sea. Por consiguiente, deben realizarse ciertas precisiones correspondientes al trabajo.

En esta tesis no se describirá un modelo para determinar cuál es el mejor protocolo, pues en definitiva no tiene como objetivo principal dar modelos prescriptivos. Se trata de establecer las características generales de los protocolos de señalización de VoIP, para luego estar en capacidad de predecir su situación desde un punto de vista descriptivo cualitativo. A partir de la revisión de literatura se puedan formular preguntas relevantes al problema de investigación, que sometidas a análisis y discusión permitan realizar conclusiones que contribuyan al conocimiento en el contexto mundial con referencia a estudios preliminares y a experiencias profesionales enfocadas en el tema en cuestión.

1.9 LIMITACIONES

Aunque la VoIP se ha desarrollado con el paso de los años, presenta una escasa difusión de ciertos protocolos de señalización, pues a menudo sólo se enfrascan en los tradicionales estándares, y dejan de lado a tantos otros protocolos que según sus características pueden ser útiles en ciertas aplicaciones. Por consiguiente, al no existir muchos estudios que establezcan

un análisis comparativo de todos los protocolos existentes, resulta complejo contrastar las ideas que se desarrollen en esta investigación; lo cual se convierte en la principal limitante de este proyecto.

1.10 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

En este apartado se explica el tipo de investigación, el enfoque, la técnica y la modalidad de recopilación de información que se empleará en la realización del estudio.

1.10.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación estará enmarcado dentro del paradigma crítico propositivo por lo que tendrá un alcance descriptivo, el cual consistirá en un trabajo científico que permitirá analizar el problema, determinar las causas, identificar las características y factores para finalmente ordenar los resultados y observaciones.

1.10.2 Enfoque

Se utilizará un enfoque cualitativo debido a que el estudio será sustentado en la descripción de las cualidades de los fenómenos de estudio, como son los protocolos de señalización de la VoIP.

1.10.3 Técnica

En este estudio se empleará la técnica de comparación descriptiva, en la que se incluyen el uso de estudios retrospectivos que observan eventos que ya han ocurrido, y de estudios prospectivos, que examinan variables hacia el futuro con el fin de identificar las tendencias y predecir la evolución de ciertos eventos.

1.10.4 Modalidad de Recopilación de Información

A través de la investigación documental se recolectarán publicaciones, tesis, libros, que abarquen temas de interés relacionados con nuestra problemática de estudio; los mismos que servirán para el análisis, discusión e interpretación de los resultados. Por consiguiente, para llevar a cabo el proyecto en su plenitud se han definido las siguientes fases de trabajo:

- *Recopilación de la información.* Corresponde a la recopilación de información necesaria y requerida para el desarrollo de la investigación.

Se obtendrá esta información a partir de:

- *Investigación bibliográfica.* Comprende la preparación de una investigación bibliográfica – documental con la finalidad de obtener información más profunda con respecto a problemas similares. Esta información contribuirá con aportes y argumentos de otros autores que

proporcionarán un alto relieve científico al proyecto. Esta información será recolectada a través de: artículos publicados en revistas especializadas, libros, trabajos de graduación realizados con anterioridad y encuestas de tendencias tecnológicas.

- *Información disponible en Internet.* Mediante el uso de Sitios Web se podrá recabar valiosa información derivada de documentos electrónicos, artículos publicados en otras universidades o directamente desde los sitios involucrados en el desarrollo de la tecnología VoIP.
- *Asesoría profesional.* Realizar sesiones con profesionales que acrediten vasta experiencia en la utilización e implementación de Redes de VoIP, teniendo presente sus opiniones sobre el futuro de esta tecnología. Esta etapa es de suma importancia para las fases posteriores, ya que establece el camino por el cual se debe continuar la investigación.
- *Documentación y análisis.* Apartado en donde se proporcionará estructura al documento a partir de la información compilada con anterioridad. Consistirá en clasificar los aspectos importantes del estudio que permitan la redacción del documento final.

1.10.5 Resultados Esperados

Este trabajo realizará cuatro contribuciones importantes a la comunidad científica, las cuales se redactan en los siguientes puntos:

1. Estudio comparativo y evaluación de cada uno de los protocolos de señalización de VoIP.
2. Estudio descriptivo del estado actual y futuro de los protocolos de señalización de VoIP.
3. Análisis de VoIP desde el ámbito Comercial, Regulatorio, Científico y Técnico.
4. Publicación de los resultados obtenidos en un artículo de categoría internacional.

1.10.6 Elementos Diferenciadores e Innovadores de la Investigación

Debido a que la tecnología de VoIP ha revolucionado el mundo de las telecomunicaciones, en los últimos años se han registrado muchos estudios relacionados en torno a esta tecnología tal como se detalla en la sección 1.1. Sin embargo este estudio es único en el sentido que abarca de manera detallada los protocolos de señalización más importantes de VoIP, y a su vez realiza un aporte a la sociedad científica al intentar proyectar de manera predictiva el desarrollo de estos protocolos en el futuro.

CAPÍTULO 2

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA VOIP

La comunicación es la actividad más importante para el ser humano, motivo por el cual el hombre se ha esforzado por mejorar y facilitar las técnicas de comunicación. La evolución de las telecomunicaciones trajo consigo avances en las tecnologías de Redes de comunicación, que han hecho posible la convergencia de voz y datos en una misma Red.

El uso de Internet para la comunicación de voz representa uno de los avances más significativos, por lo que apunta a convertirse en la tecnología que predominaría en el Mercado telefónico.

En este capítulo se pretende abarcar los fundamentos teóricos relacionados con los aspectos básicos de la comunicación telefónica tradicional, los cambios tecnológicos que ha experimentado la telefonía, su funcionamiento y sus características, para luego enfocar a la tecnología VoIP. Dentro de los aspectos de la VoIP se hace especial énfasis en los protocolos de señalización.

2.1 GENERALIDADES DE LA TELEFONÍA

El teléfono es una herramienta indispensable en la vida moderna del ser humano, la cual ha enlazado al Mundo desde hace más de un siglo, convirtiéndose en uno de los principales medios de comunicación para la Humanidad.

Las Redes clásicas de telefonía fija que dan servicio a millones de usuarios están extendidas por todo el Mundo y funcionan empleando la técnica de conmutación de circuitos y el SS7. Estas Redes se interconectan entre ellas para permitir la realización de llamadas entre cualquiera de los dispositivos terminales de ellas.

El direccionamiento de estos terminales se hace usando un sistema de numeración para relacionar el número de cada terminal (línea telefónica) según el área geográfica correspondiente.

La telefonía ha avanzado a pasos agigantados desde sus inicios hasta la actualidad, en la que se han perfeccionado procesos de comunicación digital que ayudan a optimizar el uso de los recursos de la Red y proporcionar QoS.

La telefonía tradicional consta de cuatro elementos principales para su funcionamiento: el terminal y línea telefónica del abonado, la comunicación, la conmutación y la señalización. El primero incluye también los periféricos como identificador de llamadas, contestadora automática de mensajes, y otras modificaciones dentro del mismo aparato.

La comunicación abarca los diversos modos de enviar la información dependiendo si es sólo voz, datos o ambos. La conmutación hace referencia a la conexión que realizan los diferentes nodos al establecer un camino apropiado para conectar a los usuarios. Existen dos tipos de conmutación en las Redes telefónicas: la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes.

La conmutación de circuitos consiste en establecer un circuito dedicado en la Red, esta técnica es empleada para la telefonía convencional como ya se ha mencionado con anterioridad. La conmutación de paquetes se basa en la comunicación de datos en paquetes; método utilizado en la tecnología VoIP.

2.1.1 Introducción a los Sistemas de VoIP

Antonio Meucci fue quien inventó una máquina reconocida como el primer teléfono, pero históricamente fue *Alexander Graham Bell* a quien tras patentar un aparato semejante en 1876 pasó a la Historia como el verdadero inventor del teléfono. Sus invenciones marcaron el comienzo de una Era de la comunicación.

Telefonía Analógica

En 1877, *Edwin T. Holmes* sugirió la idea de construir una central telefónica, mediante la cual un terminal telefónico (teléfono) pudiese conectarse con otro cualquiera. Este sistema fue etiquetado como *Servicio Telefónico Ordinario Antiguo (POTS)*, el cual se implanta sobre la *Red Telefónica Básica (RTB)*, dando paso al nacimiento de la telefonía entendida hoy día como la *telefonía clásica*.

La RTB, conocida también como *Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN)*, fue creada con la finalidad de transmitir la voz humana. Tanto por la naturaleza de la información a transmitir, como por la tecnología disponible en aquella época, esta Red fue en sus inicios totalmente de tipo analógica: la comunicación de señales se hacía analógicamente e incluso la señalización se hacía también de forma analógica.

La PSTN permite el intercambio bidireccional de tráfico de voz en tiempo real entre diferentes usuarios a través del método de conmutación de circuitos. Este sistema se convirtió posteriormente en la mayor SCNs en el Mundo.

Debido a su enorme tamaño su creación y mantenimiento resultaron muy costosos. Otro problema que debió resolverse es el de la señalización de las llamadas telefónicas, que pueden ser definidas como las reglas de funcionamiento sincronizado que deben implantar los terminales telefónicos y elementos de Red para que la conversación se lleve a cabo tal que sus usuarios la puedan interpretar adecuadamente.

Como resultado de la constante evolución de la telefonía se establece la introducción de las tecnologías de medios no guiados, siendo *Martin Cooper* el pionero en lo concerniente a la tecnología móvil, pues se le atribuye el primer radio teléfono en 1973; pero no fue hasta 1979 cuando hizo su aparición la *Primera Generación (1G)* de la telefonía móvil, que se caracterizó por ser analógica y estrictamente para la comunicación de voz. La calidad de los enlaces era muy baja y tenían baja capacidad (lo que se tradujo en una limitada velocidad de transmisión y por tanto de recepción de la voz).

Un elemento innovador fue el establecimiento de *celdas* (áreas geográficas con cobertura radio homogénea), gobernadas por estaciones base de comunicación radio. Si dos terminales telefónicos comunicantes están en la misma celda, la estación base puede hacer de punto intermedio de comunicación, pero si están en celdas diferentes, entonces es necesario equipos de conmutación de llamadas para encaminar la voz entre distintas celdas. En cuanto a la transferencia del terminal entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad, pues estaba basada en la técnica de *Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)*.

La tecnología predominante de esta generación fue la del *Sistema Telefónico Móvil Avanzado (AMPS)*. Nótese que para estas Redes la señalización debe incluir nuevos retos como son el traspaso de llamadas entre celdas cuando el terminal telefónico se mueve desde una celda a otra.

Con ese punto de partida, en varios países se diseminó la telefonía celular como una alternativa a la telefonía convencional.

Telefonía Digital

El problema más importante de la telefonía analógica era hacer llegar la señal intacta al destinatario. Además implantar señalización para el transporte de la voz era muy complicado y por esto nació la telefonía digital.

Las Redes digitales para medios guiados fueron inventadas en el año 1920, pero estuvieron en experimentación hasta 1964. En la década de 1970, el despliegue a gran escala de los circuitos electrónicos integrados y los procesadores permitieron realizar transmisiones de voz de señal analógica a digital.

En los siguientes años siguieron surgiendo nuevos avances en las mejoras de las tecnologías de Redes telefónicas fijas, como el desarrollo de las normas X.25, con los principios ya establecidos de conmutación de paquetes. También se desarrolló la *Red Digital de Servicios Integrados (RDSI)*, la cual empezaría a ser comercializada en los años 1990.

La RDSI permite que en una línea coexistan múltiples canales, pudiendo contener cada uno de ellos datos (*canales B*) o señalización (*canales D*). Además la RDSI no se limita sólo a la comunicación de voz y presenta una mayor flexibilidad frente a la que poseen las líneas RTB, ya que los canales pueden ser reconfigurados para la comunicación de voz o datos. Por todo esto, se esperaba que la RDSI pudiera revolucionar la Industria de las comunicaciones telefónicas, sin embargo, al no haber explotado toda su capacidad, muchos consideran a la RDSI un fracaso.

El motivo de este fracaso es puramente comercial y coyuntural. Esto es, la aparición de tecnologías de acceso a Internet en el hogar y pequeñas empresas tales como la *Línea de Abonado Digital (DSL)*, que abarataron los costos elevados de la RDSI en esos escenarios y además supuso maximizar el rendimiento del par de cobre que forma la RTC fija. Y por si fuera poco, las velocidades de transmisión de DSL eran mucho más elevadas que las de RDSI.

Además de las líneas mencionadas anteriormente, existen otros tipos de líneas digitales con las que normalmente se trabajan para realizar la comunicación de una Red a otra, tales como: E1, T1, E3, T3, *Red Óptica Síncrona (SONET)*, *Modo de Transferencia Asíncrono (ATM)*, *Jerarquía Digital Síncrona (SDH)*... Todas estas tecnologías tenían el valor añadido de poder comunicar datos por las líneas telefónicas, lo que aumentaba considerablemente la cantidad de servicios telefónicos y de datos que se podían proveer.

Con el incremento en la complejidad de los elementos de Red, la señalización de la Red también se complicó. Ahora existen una serie de reglas a seguir entre las centrales digitales, los elementos de las Redes troncales de los bucles de abonado y los terminales telefónicos, para que la llamada pueda iniciarse, establecerse y completarse adecuadamente.

Es así como debido a la evolución de la Industria de las telecomunicaciones, diferentes estándares de señalización han surgido para tratar de solucionar problemas de direccionamiento, interconexión con Redes existentes, control de admisión, intercambio de capacidades...

La definición de una arquitectura estándar que permitiera implantar esta señalización de forma universal para cualquier Red telefónica (fija o móvil) fue el objetivo del SS7. Este estándar permite garantizar la QoS definiendo una arquitectura de protocolos dispuesta en cuatro niveles (figura 2.1), en donde las unidades de señal son mensajes de las aplicaciones de señalización transportados en paquetes.

Este sistema asigna un canal separado en paralelo a cada llamada de la PSTN y proporciona información de control de la llamada a través de ese canal.

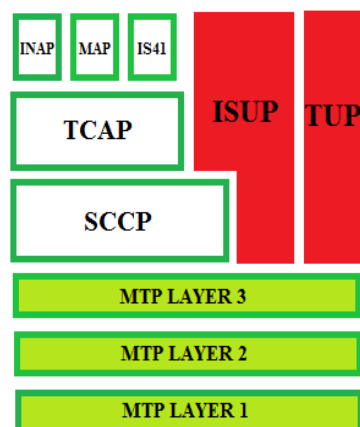


Figura 2.1 Arquitectura del Estándar SS7

La situación actual para la RTC puede clasificarse como híbrida, pues lo normal es que la comunicación sea todavía analógica en el bucle de abonado de ambos extremo y digital en su tráfico entre centrales. En la actualidad la telefonía cuenta con el despliegue de Redes con las siguientes características:

- *Calidad de voz.* Inicialmente fueron diseñadas específicamente para el manejo de tráfico de voz, por tal motivo los retrasos, interferencias y ecos presentados son mínimos.
- *Alta disponibilidad.* La comunicación telefónica está regulada internacionalmente bajo estándares que establecen que deben presentar un porcentaje de disponibilidad de un 99,999 %, razón por la que la telefonía tradicional clásica sigue funcionando hoy en día.
- *Método de conmutación.* Se emplea la conmutación de circuitos, lo que genera altos costos de interconexión.
- *Precio.* El cobro de la realización de una llamada se calcula en base al tiempo de conexión y a la distancia geográfica entre los usuarios, distinguiendo entre llamadas locales (misma localidad), nacionales (mismo país), e internacionales (distintos países).

En cuanto a la telefonía móvil, la tecnología tuvo gran aceptación, por lo que a los pocos años de implantarse se empezó a saturar el servicio. Entones, hubo la necesidad de desarrollar e implantar otras formas de acceso múltiple al canal, y transformar los sistemas analógicos a digitales con el objeto de darles cabida a más usuarios.

Por estas razones el sistema analógico empezó a perder adeptos con la aparición del *Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM)* en 1995, que marcó el inicio de la denominada *Segunda Generación (2G)* de la telefonía móvil, la cual se caracterizó por ser digital. El estándar GSM fue pionero en incluir una alternativa de comunicación muy barata a las llamadas de voz: el *Servicio de Mensajes Cortos (SMS)*, siendo la primera vez que se usó una Red de telefonía móvil para transmisión de datos.

Los protocolos empleados en 2G soportan velocidades más altas para voz, pero limitados en comunicaciones de datos. Por tal motivo, en el 2001 aparece la *Red de Telefonía Móvil de Segunda Generación Mejorada (2.5G)*, que es más rápida y cuenta con capacidades adicionales a los sistemas 2G como el *Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS)*, cuya mayor velocidad de comunicación permitió utilizar servicios tales como: *Protocolo de Aplicación Inalámbrica (WAP)* precursor de los servicios Web móviles

actuales, *Servicio de Mensajería Multimedia (MMS)* pionero de los actuales servicios de flujos de medios (*streaming*) móviles, correo electrónico...

Esta tecnología sirvió como transición para migrar de una manera más económica los servicios de telecomunicaciones a la *Tercera Generación (3G)*, que se caracteriza por la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, siendo apta para aplicaciones multimedia. La tecnología de las Redes 3G, conocida como *Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS)* permite una velocidad de transferencia muy superior a los sistemas precedentes, mayor seguridad y cobertura mundial.

El aumento del uso de datos móviles y la aparición de nuevas aplicaciones y servicios de datos fueron las motivaciones para desarrollar el proyecto denominado *Evolución a Largo Plazo (LTE)*, que emplea una interfaz radioeléctrica basada en la técnica de *Múltiple Acceso por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA)*.

LTE es un sistema que brinda total movilidad empleando IP para realizar cualquier tipo de tráfico de datos con elevada QoS. Hoy en día ya existen operadores comerciales telefónicos que están empezando a proveer telefonía celular 4G a gran escala.

Actualmente el SS7 hace posible la señalización en todas las Redes de telefonía fijas y celulares que se han revisado.

VoIP

La telefonía digital trajo consigo muchas ventajas, sin embargo hacer llamadas a gran distancia resulta muy costoso porque se deben cruzar distintos tipos de Redes heterogéneas interconectadas entre ellas. El costo se deriva del hecho de que cada una de estas Redes tiene un dominio administrativo diferente (en distintos países sobre todo) y por ello los dueños de esos dominios deben acordar la política a seguir para el cobro de los servicios, con lo cual quedamos a expensas de las políticas económicas del Mercado. Aquí es donde Internet juega un papel muy importante, puesto que permite abaratar la provisión de servicios a escala global (mundial), debido a que la comunicación a través de ella es considerada en muchos países un derecho de los ciudadanos.

Por otro lado, el envío de voz y datos en una misma Red se logró con el desarrollo de la RDSI y Redes similares, sin embargo, con la rápida aceptación de Internet y gracias al desarrollo de sus protocolos, el Internet se mostró como la Red idónea para alcanzar el objetivo de integrar todos los servicios. Por estas razones es que se justifica la VoIP.

Con estos dos antecedentes es correcto considerar el advenimiento de la VoIP: por un lado para abaratar las comunicaciones y por otro porque de forma natural provee protocolos y servicios que integran fácilmente las comunicaciones de voz y de datos. En este contexto, VoIP se refiere a la utilización de Internet y sus protocolos para transmisión de voz, permitiendo que la voz y los datos utilicen el mismo medio de comunicación.

A estos argumentos hay que añadir la facilidad con la que se pueden interconectar (a través de IP) distintas tecnologías de Red, como por ejemplo Ehternet, *Fidelidad Inalámbrica (WiFi)*, *Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (WiMAX)*... Este era el objetivo de los primeros estudios de comunicación de flujos de VoIP a finales de los años 1970: convertir a IP en la espina dorsal (*backbone*) universal para el transporte de la telefonía a escala mundial.

A finales de los ochenta y principio de los noventa nace la idea de la VoIP, debido a la necesidad de integrar todos los servicios en una sola Red para ahorrar costos, proporcionar un servicio ubicuo y aumentar su eficiencia. En 1990, el rendimiento de la Internet había mejorado considerablemente haciendo posible enviar un flujo de información de los medios de comunicación en tiempo real a través de una conexión de Red. Esta es la

esencia de la VoIP, la cual fue desarrollada (desde el punto de vista comercial) en 1995.

La tecnología de VoIP permite a los servicios de la telefonía tradicional operar a través de Redes informáticas utilizando protocolos de conmutación de paquetes. Los servicios de VoIP son interoperables, lo que significa que funcionan bien a través de todo tipo de Redes. También son altamente portables, lo que significa que funciona con cualquier dispositivo habilitado para IP, tales como un teléfono IP, un ordenador, un computador portátil, una tableta o un teléfono móvil.

La VoIP más que un servicio representa una tecnología que permite encapsular la voz en paquetes para transportarlos sobre IP. La conversación la realiza sin el uso de circuitos, enviando múltiples conversaciones a través de la misma "conexión IP" encapsuladas en paquetes y flujos independientes, lo que implica un uso más eficiente de los recursos de la Red.

Esta metodología extiende las capacidades de las Redes actuales hacia nuevas aplicaciones de voz, datos y vídeo. Además, permite a las personas comunicarse de una manera más sencilla aplicando métodos más eficaces y creativos como es el uso de Internet.

Conjugados mundos históricamente separados entre dos tipos de Redes: la de comunicación de voz y la de datos. Se trata de transportar la voz, previamente convertida a datos entre dos puntos distantes [16]. Esto posibilita utilizar Internet para efectuar las llamadas telefónicas y en consecuencia desarrollar una única Red convergente capaz de cursar voz, datos, vídeo o cualquier tipo de información [17].

La QoS y el alto rendimiento de la Red conmutada rara vez han estado en discusión en los últimos cincuenta años. Es natural que la QoS que hemos llegado a aceptar y esperar sea considerada como punto de referencia o estándar que VoIP tiene que cumplir, y que para lograrlo el principal desafío que debe afrontar la VoIP es hacer inter-operar a la telefonía analógica y digital (tanto fija como móvil) con los protocolos de señalización de Internet y de comunicación de datos. Por esto, el problema interesante de comunicación son: el empaquetado de datos provenientes del *Codificador/Decodificador (CODEC)* y crear protocolos de señalización eficientes.

VoIP en la NGN

Como futuro, lo que se plantearía es que toda la información sea transportada únicamente por IP, haciéndola compatible con el concepto de NGN.

NGN se refiere a la evolución de la actual infraestructura de Redes de telecomunicaciones y acceso telefónico con el objetivo de lograr la convergencia tecnológica de los nuevos servicios multimedia. La idea general detrás de este tipo de Redes es el transporte de paquetes encapsulados de información a través de Internet.

Nótese que, en el caso de que el transporte de VoIP en todos los enlaces se haga sobre datagramas IP nativos, entonces ya no tendría sentido el concepto VoIP. En lugar de ello estaríamos frente al concepto de *telefonía IP*; es decir el transporte de las conversaciones de voz íntegramente sobre datagramas IP sin que exista en ningún enlace la conversión a voz sobre la RTC. Este escenario se suele dar hoy día de forma natural entre los usuarios que utilizan computadores conectados a Internet para sus conversaciones de voz.

2.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS VOIP

Hace unos años atrás se descubrió que se podía enviar señales a su destino de manera digital, es decir, antes de enviar la señal se debería digitalizar la información con un *Convertidor de Analógico a Digital (ADC)*, transmitirla y en el extremo de destino transformarla de nuevo a formato análogo mediante un *Convertidor de Digital a Analógico (DAC)*.

VoIP funciona de esta manera, digitalizando la voz, empaquetándola en datagramas IP, transportándola a través de la Red y reconvirtiendo estos paquetes a la señal original en el destino.

El proceso empieza con la señal análoga del teléfono siendo digitalizada en señales de *Modulación por Codificación de Pulsos (PCM)* por medio del CODEC de voz. Las muestras PCM son comprimidas y fraccionadas en paquetes por el módulo de compresión. Estos paquetes pueden ser transmitidos para este caso a través de una *Red de Área Amplia (WAN)*. En el otro extremo de la WAN se realiza la recuperación de la voz ejecutando exactamente las mismas funciones en un orden inverso.

2.2.1 Proceso de Codificación de Voz

Este es el principio del audio digital (incluida la telefonía), pues la realización de la comunicación telefónica por medios digitales hace necesario que la voz cuya naturaleza es analógica, sea convertida a una señal digital. Para esto se emplea un proceso que en primera instancia consiste en muestrear la señal (discretización temporal), luego realizar la cuantificación de las muestras obtenidas (discretización en amplitud), y posteriormente codificar las muestras de voz cuantificadas. En el otro extremo, se utiliza la información recibida para generar una señal de audio nueva que tiene las mismas características que la original (figura 2.2). Resumidamente:

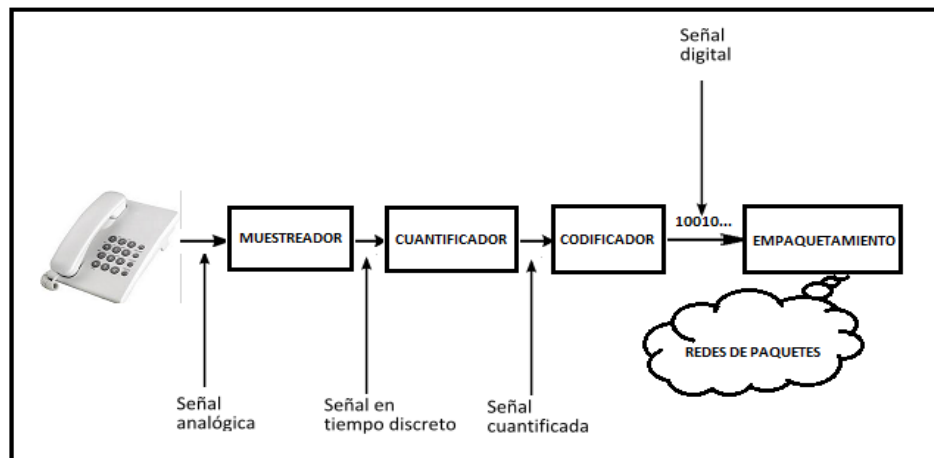


Figura 2.2 Proceso de Codificación de la Voz

- *Muestreo.* Consiste en seleccionar valores de la señal analógica en ciertos instantes de tiempo, utilizando el Teorema de Nyquist [18].
- *Cuantificación.* Mediante esta técnica, a las amplitudes de las muestras obtenidas de la señal analógica se les asignan valores discretos con el objetivo de conseguir que éstas queden representadas en un número finito de bits, dando como resultado la representación digital de la señal.
- *Codificación.* Una vez que la señal ya presenta un formato digital, el paso siguiente es codificarla, es decir, adaptarla para que sus características sean las idóneas al momento de transmitirla por un canal de comunicaciones concreto. Los dispositivos de codificación y decodificación se denominan CODECs. La tabla 2.1 resume los algoritmos de compresión de voz más conocidos.

CODEC	Estandarizado por:	Ancho de Banda [Kbps]	retraso [ms]	Patente
G.711	ITU-T	64	20 - 30	No
G.726	ITU-T	16, 24, 32	20 - 30	No
G.723.1	ITU-T	6.3, 5.3	37.5	Si
G.729A	SIPRO	8	15	Si
GSM	GSM group	13	20	No
iLBC	IETF	13.3, 15.2	20 -30	No
Speex	Xiph. Org Found.	2.15 - 22.4	30	No

Tabla 2.1 Algoritmos de Compresión de Voz

2.2.2 CODECs Utilizados en VoIP

Los CODECs son los medios por los cuales puede ser convertida la voz analógica en una señal digital. Por tanto, los CODECs emplean generalmente diferentes modelos matemáticos para codificar digitalmente (y comprimir) información de audio analógico.

El objetivo de los diferentes algoritmos de codificación es lograr un equilibrio entre la eficiencia y la calidad. El CODEC además de ejecutar la conversión de analógico a digital, comprime los datos y proporciona la cancelación del eco. Entre los CODECs utilizados en la tecnología VoIP se mencionan:

- **G.711.** Es el CODEC fundamental de la PSTN, pues brinda la mejor calidad de voz. Este utiliza dos métodos de compresión-expansión: *μlaw* en América del Norte y *alaw* en el resto del mundo. Cualquiera de los dos proporciona una palabra de 8 bits transmitida 8000 veces por segundo.

- G.723. Es un estándar de CODEC de voz de banda ancha. Es una extensión de acuerdo a la recomendación G.721.
- G.723.1. Es una subdivisión del CODEC G.723, el cual se usa mayoritariamente en aplicaciones VoIP. Es un tipo de CODEC de alta calidad y de compresión elevada; incluye un esquema de compresión basado en la supresión de silencios y *Detección de Actividad de Voz (VAD)*. Consigue una baja tasa de bits reduciendo considerablemente la necesidad de ancho de banda, por lo que resulta apropiado para Internet.
- G.726. Conocido como *Modulación Diferencial Adaptiva por Codificación de Pulsos (ADPCM)*. Puede funcionar a varias velocidades sin elevar la cantidad de procesamiento considerablemente (buena relación calidad - ancho de banda y procesamiento).
- G.729. Es propietario, altamente robusto y es utilizado mayoritariamente en aplicaciones de VoIP por sus bajos requisitos en ancho de banda. Los CODECs G.729 y G.729A tienen una latencia más baja que el G.723.1.
- G.729A. Es una subdivisión de G.729. Teniendo en cuenta el poco ancho de banda que utiliza, G.729A ofrece una calidad de sonido impresionante, exhibiendo elevados requisitos de cálculo. Es muy popular y por lo tanto

muy apoyado en muchos teléfonos y sistemas diferentes.

- *GSM*. Preferido de Asterisk [19]. Ofrece un excelente rendimiento con respecto a los requisitos de cálculo. La calidad del sonido es considerada generalmente como de un grado menor que la producida por G.729A.
- *iBLC*. Proporciona una atractiva mezcla de bajo ancho de banda y de calidad, y es muy adecuado para el mantenimiento de la calidad, especialmente en los enlaces de Redes con pérdidas. Utiliza algoritmos complejos para lograr sus altos niveles de compresión, lo que ocasiona un costo bastante elevado de CPU en Asterisk.
- *Speex. Tasa de Bits Variable (VBR)*, siendo capaz de modificar dinámicamente su velocidad para responder a las condiciones cambiantes de la Red.

2.3 PROTOCOLOS DE SOPORTE VOIP

Los protocolos asociados a la VoIP se dividen en dos grupos: los que soportan el transporte de la voz y aquellos que soportan la señalización de llamada y las funciones de control.

2.3.1 Introducción a los Protocolos de Señalización VoIP

Antes de realizar la comunicación de VoIP es necesario que a los terminales involucrados se les reserven recursos del sistema, establezcan sesión, sincronicen la comunicación y establezcan una comunicación permanente; que duraría hasta que uno de los participantes decida terminar la conversación. Las expectativas de QoS al igual que en la telefonía tradicional son altas, por lo que se hace necesario seleccionar un protocolo de señalización adecuado, cuya arquitectura de Red cumpla con dichas expectativas.

Existen muchos protocolos que permiten llevar a cabo la señalización en VoIP. De entre ellos podemos destacar los siguientes:

- *H.323*. Es un conjunto de estándares que definen un conjunto de protocolos para proveer comunicación visual y de audio sobre una Red.
- *SIP*. Protocolo desarrollado con la intención de ser el estándar para la inicialización, modificación y finalización de sesiones interactivas que se despliegan sobre Internet.
- *MGCP*. Su arquitectura se diferencia del resto de los protocolos de señalización por ser del tipo cliente – servidor.

- *MEGACO*. Es la versión mejorada del protocolo MGCP.
- *IAX*. De código abierto, y empleado por Asterisk.

2.3.2 Protocolos de Transporte de Voz

El objetivo de cualquier comunicación es el intercambio de información entre un elemento origen y un elemento destino, el transmitir esta información de un punto a otro es una de las funciones que tienen los protocolos de transporte, además se encargan de fragmentar y re-ensamblar los paquetes de datos y proveer los mecanismos necesarios para reducir el impacto de las pérdidas de paquetes, el jitter y el retraso.

Los protocolos que administran el transporte de la voz ofrecen información de temporización para asegurar una reproducción de audio consistente en el receptor, así como una retroalimentación del rendimiento de QoS con respecto a la Red subyacente.

- *Protocolo de Transporte en Tiempo Real*. El *Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP)* está basado en la *Petición de Comentarios (RFC) 3550 [20]*, la cual define los principios de un protocolo de transporte sobre Redes que no garantizan QoS para datos en tiempo real, como las comunicaciones de audio y vídeo.

El RTP establece la manera de generar paquetes que incluyen además de los propios datos a transmitir, números de secuencia, marcas de tiempo y monitoreo de entrega; eliminando en la medida de lo posible los efectos de las pérdidas, el retraso y el jitter.

- *Protocolo de Control de RTP*. El RFC 3550 también detalla el *Protocolo de Control de RTP (RTCP)*, el cual describe el intercambio de mensajes de control relacionados fundamentalmente con la QoS. Es un protocolo de control de los flujos RTP, que permite transportar informaciones básicas de los participantes de una sesión. Está basado en transmisiones periódicas de paquetes de control. Aunque es opcional, su utilización es recomendable porque proporciona información del estado de la comunicación con el fin de detectar situaciones en las que la calidad de comunicación no es suficiente.

- *Protocolo de Flujo de Medios en Tiempo Real*. El *Protocolo de Flujo de Medios en Tiempo Real (RTSP)* está definido en el RFC 2326 [21], y es un protocolo de nivel de aplicación que define cómo debe llevarse a cabo la transmisión. Una vez que la aplicación cliente ha recibido suficientes paquetes, comienza la reproducción, y simultáneamente puede estar descomprimiendo otro [22, 23].

2.4 CONSIDERACIONES DE LA QOS EN LA VOIP

En esta sección se exponen las necesidades especiales que posee el tráfico de voz. La VoIP enfrenta problemáticas propias de las Redes de datos que se manifiestan como degradaciones en la QoS y por consiguiente en la *Calidad de Experiencia (QoE)* del usuario. Estas degradaciones pueden deberse a pérdida de paquetes, retrasos de la Red y jitter [24, 25].

Existen muchos factores que afectan a la QoS y la QoE. En general se aceptan una serie de parámetros que son los que se exponen a continuación:

- *Pérdida de paquetes.* A diferencia de la RTC, en la que para cada conversación se establece un vínculo “estable y seguro”, las Redes de datos sufren de la pérdida de paquetes. Si el porcentaje de pérdida es pequeño, entonces la degradación de la voz también lo es. Los porcentajes de pérdida admisibles dependen de otros factores como: la demora de comunicación y el factor de compresión de la voz. La pérdida de paquetes es causada por una Red de baja calidad, lo que a su vez provoca una elevada *Tasa de Error de Bit (BER)* en los enlaces o congestión de la Red.
- *Retraso.* El tiempo invertido en la conmutación, propagación y serialización en la Red causan el retraso de extremo a extremo, conocido

como retraso fijo. El usuario percibe una disminución de la calidad de voz en la llamada si el retraso excede de 150 ms. El objetivo, por tanto, debe ser el de mantener el umbral por debajo de 150 ms para sostener la calidad de las llamadas de voz. El retraso total está determinado por varios factores, entre los que se encuentran:

- *CODEC*. En forma genérica, cuanto mayor es el grado de compresión alcanzado, mayor retraso se produce en el envío y recepción de la voz.
- *Procesado*. Es el tiempo involucrado en el procesamiento de la voz para la implementación de los protocolos.
- *Latencia*. Las demoras propias de la Red están dadas por la velocidad de comunicación de la misma, la congestión y las demoras de los equipos de Red (encaminadores, conmutadores...). Un efecto secundario generado por las demoras elevadas, es el eco. El eco se debe a que parte de la energía del audio enviada es devuelta por el receptor.
- *Jitter*. Tiene un impacto significativo en la calidad de voz. Este fenómeno ocurre cada vez que se reciben los datagramas de VoIP fuera de la

ventana de tiempo esperado (en diferido), por causa de retrasos de tiempo introducidos por el equipo de transporte, el aumento de tráfico en la Red o cambios en su configuración.

El receptor debe recibir los datagramas a intervalos constantes para poder regenerar de forma adecuada la señal original. Dado que el jitter es inevitable, los receptores disponen de una memoria de entrada (*jitter buffer*) con el objetivo de suavizar el efecto de la variación de los retrasos. Esta memoria recibe los paquetes a intervalos variables y los entrega a intervalos constantes.

2.5 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA VOIP

Entre las ventajas de la VoIP se destacan:

- El costo, como uno de los beneficios más importantes que reporta la utilización de esta tecnología, pues una llamada resulta menos costosa en comparación a la telefonía convencional. Esto es básicamente debido a que VoIP usa conmutación de paquetes: en un medio de transmisión compartido se comunica la voz en datagramas IP. Esto se traduce en un ahorro de dinero al efectuar las llamadas telefónicas, puesto que no se dedican circuitos de comunicación.

- Mejor aprovechamiento del ancho de banda, al emplear el mismo canal para transportar paquetes de datos y voz, aumentando la capacidad de tráfico de la Red.
- El mantenimiento y la administración de la Red, en donde no se requieren recursos complejos y costosos como en la RTC.
- La escalabilidad, que en VoIP es más barata que en los sistemas tradicionales de voz.
- La movilidad, pues debido a que los teléfonos IP transmiten su información a través de Internet, éstos pueden ser administrados por su proveedor desde cualquier lugar donde exista una conexión; y por ende, se puede realizar una llamada desde cualquier sitio que posea conectividad a Internet.
- La gran aceptación que presenta la VoIP, brindando un Mercado de variedad en cuanto a *hardware* y *software*.
- Mayor productividad, que se manifiesta mediante el incremento del potencial para trabajar desde varias localidades, contribuyendo con un modelo de gestión más eficiente.

- Variedad de servicios, ya que la VoIP no sólo incluye los servicios que ofrece la telefonía tradicional, sino que además brinda algunos otros como videoconferencias, mensajería instantánea, envío de fax sobre IP, correo electrónico...
- Protección de la inversión existente, pues considerando que una determinada entidad posea un sistema de telefonía tradicional, tal como una *Central Privada de Conmutación (PBX)* que probablemente incluya muchas estaciones de teléfonos digitales; estos teléfonos pueden ser reutilizados adaptando este sistema para un ambiente VoIP, permitiendo proteger la inversión realizada por el hardware existente.
- El Mercado de código abierto, que representa a los usuarios una opción diferente para adquirir esta tecnología, pues VoIP puede emplearse bajo plataformas y suites de código libre e inclusive utilizar estándares de señalización basados en código abierto sin ningún inconveniente.

Entre las limitaciones que presenta VoIP se encuentran:

- Cortes en la comunicación, ya sea por cortes en el suministro de energía o por la mala calidad de las líneas de datos.

- La seguridad, ya que al realizarse la transmisión de información a través de Internet, y al ser éste de naturaleza insegura para compartir datos, la VoIP es susceptible a virus, gusanos y piratería (*hacking*). Sin embargo, este problema puede ser contrarrestado con la implementación de ciertos protocolos de seguridad que podrían cifrar y autenticar mensajes de señalización, mitigando en gran medida los riesgos a los que pueden verse expuestos los usuarios.

- El deterioro de la comunicación, debido a que durante una conversación se producen retrasos en la llegada de los paquetes, lo cual sucede por lo general cuando se produce una congestión elevada, o bien cuando utilizamos un ancho de banda escaso que no permite acceder a una velocidad adecuada de conexión.

- La regulación de las telecomunicaciones en algunos países, donde los entes reguladores tratan de prohibir o limitar la prestación de servicios VoIP.

2.6 TECNOLOGÍAS COMERCIALES EXISTENTES DE VOIP

La utilización de servicios de VoIP se ha incrementado considerablemente durante los últimos años, por esta razón han surgido compañías dedicadas a

brindar este servicio y a desarrollar equipos, aplicaciones y software que trabajan con tecnología VoIP.

El uso de esta tecnología es amplio, pero el más común es el de emplearse en forma de equipos especializados para actuar como una PBX, la cual se encarga de establecer conexiones entre terminales.

Las PBXs han pasado por una transformación rápida a través de los años, éstas pasaron de ser analógicas, a semi-digitales y luego a totalmente digitales. La evolución es tal, que ahora se está utilizando la denominada PBX IP o *Central Telefónica IP*, que está diseñada para ofrecer servicios de comunicación a través de las Redes de datos. La PBX IP puede implantarse en hardware o de forma virtual (las actividades de encaminamiento de llamadas se realizan mediante software).

Y uno de los aspectos más destacados de la VoIP es que puede desarrollarse con software de código abierto, lo que representa una de sus principales ventajas. Es así como actualmente se están desarrollando en el mundo del software libre programas bajo sistemas operativos como Windows y Linux, tal es el caso de las plataformas Asterisk o FreeSWITCH, o la suite para Asterisk como Elastix.

Asterisk o FreeSWITCH podrían reemplazar completamente a una PBX, ya que estos programas realizan todas sus funciones, aunque se debe lidiar con la seguridad y con la calidad de audio. Sin embargo son bastantes usados por no tener costos de licencia asociados a ellos.

Asterisk incluye presenta muchas características que anteriormente sólo estaban disponibles en costosos sistemas propietarios PBXs, e inclusive reconoce muchos protocolos de señalización tales como: SIP, H.323, IAX y MGCP.

En el caso de FreeSWITCH, es una plataforma de comunicaciones para la creación de productos de voz, mensajería instantánea y vídeo; la cual está disponible bajo la Licencia Pública de Mozilla [26].

Así mismo existen disponibles suites para plataformas que trabajan como PBXs, entre las que destaca Elastix, que es una distribución de código libre (actualmente sobre CentOS y versión estable 2.4.0) [27]. Además, es un Servidor de Comunicaciones Unificadas que integra: las mejores herramientas disponibles para PBXs basadas en Asterisk, fax, mensajería instantánea, correo electrónico... Añade su propio conjunto de utilidades para que sea el mejor paquete de software disponible para la telefonía de código abierto.

Desde una perspectiva de mercado que va creciendo, Elastix se sitúa como una solución muy demandada, debido en su mayoría a que cuenta con drivers para los principales fabricantes de tarjetas como: OpenVox, Digium, Xorcom, Yeastar, Sangoma, Rhino Equipment. Y que además soporta muchas marcas de teléfonos. Algunos fabricantes son: Atcom, Aastra, Cisco, GrandStream, Linksys, Nokia, Polycom, Snom, UTstarcom, Yealink.

En la actualidad la gran mayoría de software de mensajería instantánea incluyen la implementación de servicios de VoIP, tales como: Live Messenger, Google Talk, Yahoo Messenger, X-Lite, LIPZ4, Firefly, iChat, Skype... Entre los fabricantes más importantes de los equipos comerciales de VoIP destacan: Avaya, Cisco Systems, Siemens, Alcatel, Nortel, Mitel, NEC, 3COM, Shoretel, Inter-Tel, Digium, Ericsson, Intel, Microsoft, Teltronics [28, 29]...

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LOS PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN DE VOIP

La señalización en los servicios de VoIP es la encargada de establecer, mantener, administrar, gestionar en todos sus aspectos y finalizar una conversación entre dos puntos (terminales o bien dispositivos de la Red), proveyendo QoS en cada canal de comunicación. Por lo tanto, debido a su importancia en los siguientes apartados se describe en detalle el presente de los protocolos de señalización empleados en VoIP.

3.1 PROTOCOLO H.323

H.323 es una familia de estándares desarrollado por la *Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)* con el objetivo de ofrecer un mecanismo de

transporte para servicios multimedia en tiempo real sobre Redes que no garantizan QoS. La principal aportación de este estándar fue el desarrollo de un conjunto de protocolos que permiten controlar el establecimiento, mantenimiento y liberación de conexiones multimedia (audio, vídeo y datos).

Es parte de la familia H.32x de protocolos de comunicación, cuya primera versión fue estandarizada en 1996 y se denominó: *Sistemas y terminales de telefonía visual sobre redes de área local sin garantías de calidad de servicio* [30]. La versión 2 fue aprobada en febrero de 1998, y se desarrolló con el objetivo de arreglar algunos de los problemas y las limitaciones que presentaba la primera versión [31]; mientras que la versión 3 publicada en 1999 incluye las modificaciones y las extensiones para permitir comunicaciones a través de una Red mayor [32]. La versión 4 fue publicada en el año 2000, y en esta se incluyen algunos cambios importantes en el protocolo [33]. Finalmente la versión 5 en 2003, la versión 6 en junio de 2006 y la versión 7 en 2009 introdujeron cambios pequeños [34, 35, 36].

3.1.1 Características de H.323

Entre sus principales características están:

- Definido inicialmente como un protocolo de videoconferencia, ha evolucionado para cubrir todas las necesidades de la VoIP.

- Preparado para ejecutarse sobre Internet y por tanto sobre cualquier tipo de tecnología de enlace.
- Especifica aspectos basados en el SS7 para la interconexión con la RTC.
- Es independiente de la plataforma hardware o sistema operativo.
- Evita añadir elementos de seguridad adicionales, utilizando algoritmos de cifrado para la información.
- Fue el primero en aparecer en escena, estuvo maduro durante muchos años (gran cantidad de vendedores de software han tenido tiempo para desarrollar implementaciones robustas basadas en este estándar) y está actualmente en decadencia porque no ha tenido mucho éxito entre los consumidores y las empresas, debido principalmente a su complejidad y a ciertos inconvenientes detectados en conferencias cuando se utiliza un número elevado de terminales.
- Es una recomendación cerrada, donde se definen los CODECs a utilizar tanto en audio como en vídeo y los protocolos para el transporte de la información.

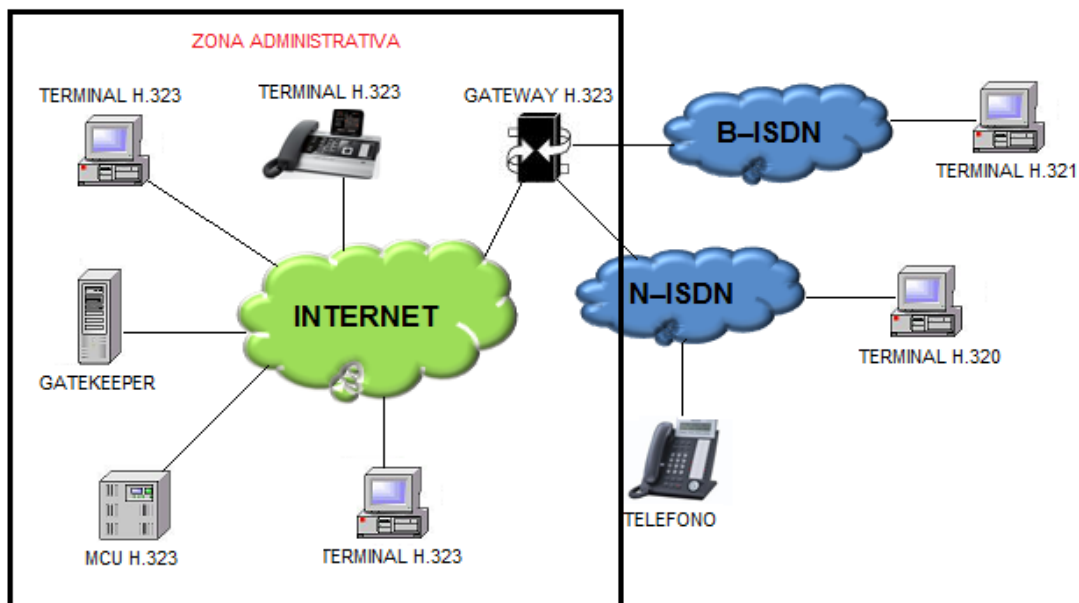


Figura 3.1 Esquema de la Arquitectura del Protocolo H.323

3.1.2 Elementos y Funcionalidad de H.323

Este protocolo está basado en una arquitectura distribuida extremo a extremo en la que se diferencian ciertos componentes que son esquematizados en la figura 3.1.

El desarrollo de una Red de VoIP basada en H.323 requiere principalmente de dos elementos básicos: *Punto Final (EP)* y *Gatekeeper (GK)*.

- *Puntos Finales*. Son las fuentes y los sumideros del tráfico y se les denomina de esta manera a las siguientes entidades: *Terminal*, *Pasarela (GW)* y la *Unidad de Control Multipunto (MCU)*:

- *Terminal H.323*. Dispositivo de Red que proporciona en tiempo real comunicación bidireccional con otro terminal H.323, GW o MCU. El intercambio de información incluye controles, indicaciones, audio, vídeo y datos. Todos los terminales deben soportar comunicaciones de voz y vídeo. El soporte de datos es opcional.

- *Pasarela H.323*. Elemento de Red que permite interconectar directamente los terminales H.323, ya sea con otros GWs o con terminales en otras Redes de circuitos tales como: H.310, H.320, H.321 o Redes telefónicas tradicionales. Sus funciones básicas son la traducción de protocolos de establecimiento, liberación de llamadas y la conversión de los formatos de la información entre diferentes tipos de Redes.

- *Unidad de Control Multipunto*. Elemento funcional de Red que permite soportar comunicaciones multipunto. Se encarga de mezclar y distribuir los flujos de audio y vídeo al mismo tiempo de distribuir dichos flujos entre los participantes. Para realizar funciones de mezclado de medios, la MCU tiene dos entidades de apoyo funcional: el *Controlador Multipunto (MC)* que proporciona control de los miembros del grupo y capacidad de negociación, y el *Procesador Multipunto (MP)* que cumple con el cometido de mezcla de medios

(audio, vídeo, datos). Las funciones de un MCU pueden ser incorporadas en un terminal H.323.

- *Gatekeeper*. Es un componente de la Red H.323 que se encarga de ofrecer servicios en una zona administrativa a entidades registradas: los terminales, GWs y MCUs. Por cada GK hay una zona administrativa y un número de terminales, GWs y MCUs registrados. Una zona administrativa no está necesariamente definida geográficamente o por la topología de Red: es el conjunto de EPs registrados.

Las funciones que proporciona el GK son esencialmente de control: traducción de direcciones (entre IP y número de teléfono), control de admisión (autorización o negación de registro), gestión de ancho de banda, control de zonas. En forma adicional a los servicios indicados, el GK puede brindar cualquier otro tipo de servicios adicionales, como por ejemplo: señalización para el control de llamadas (establecimiento y liberación de llamadas), autorización de llamada, entre otras.

Inicialmente se desarrollaron terminales que podían comunicarse sin GK puesto que es un elemento opcional de la arquitectura H.323, pero la inexistencia de GK limita el servicio de transferencia de medios.

3.1.3 Arquitectura H.323

Los protocolos asociados al estándar H.323 están representados en la figura 3.2, la cual incorpora una variedad de formatos de medios y estructuras de aplicación elevada.

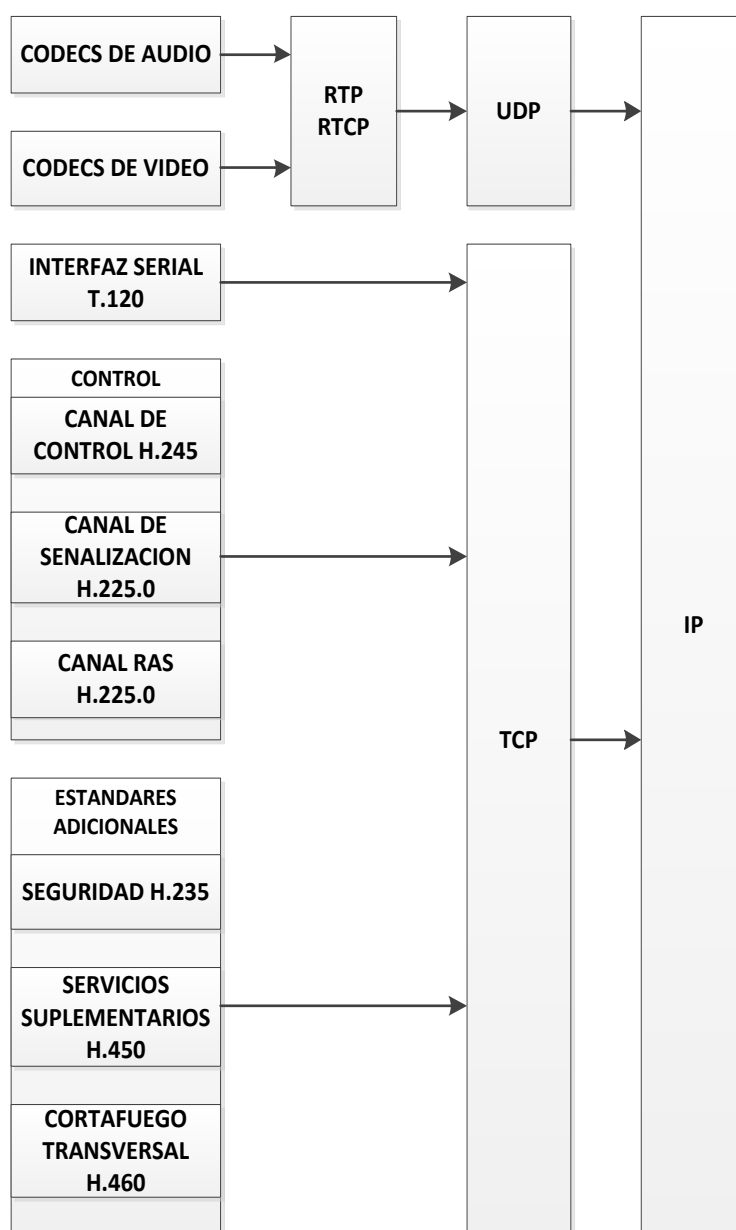


Figura 3.2 Arquitectura de Protocolos de H.323

CODECs SOPORTADOS EN H.323		
AUDIO	TASA DE BIT (Kbps)	VÍDEO
G.711	64 Kbps	H.261
G.722	48, 56 y 64	
G.723.1	6,3	
G.728	16	H.263
G.729	8	
GSM	13,2	

Tabla 3.1 CODECs soportados en el Protocolo H.323

- *CODEC de Audio y de Vídeo.* La recomendación H.323 especifica los CODECs que soporta para audio y vídeo. Este estándar admite los siguientes tipos de codificación presentados en la tabla 3.1.

Todo terminal H.323 debe obligatoriamente disponer de un CODEC de audio. Este CODEC de audio debe soportar como mínimo la codificación G.711 (en *μlaw* y *alaw*), y opcionalmente las otras admitidas por la recomendación H.323. La codificación de vídeo es opcional en H.323.

Al establecer una comunicación de audio o vídeo el tipo de CODEC a utilizar, la velocidad de comunicación y otros parámetros son negociados según la recomendación H.245 por el “canal de control de llamadas”. El audio y el vídeo generado son “formateados” según la recomendación H.225.0 utilizando los protocolos RTP y RTCP (sección 2.4.2).

- *Interfaz de datos.* Los terminales H.323 pueden establecer comunicaciones de datos con otros terminales H.323. Para esto requieren abrir *canales de datos*, los que pueden ser bidireccionales o unidireccionales. La recomendación T.120 provee un estándar de interoperabilidad para el intercambio de datos entre terminales H.323 y otros tipos de terminales [37].

- *Mecanismos de Control y Señalización.* H.323 provee tres protocolos de control:
 - *Canal de Control H.245.* Se utiliza para enviar mensajes de control de extremo a extremo. Estos mensajes se utilizan para gestionar el funcionamiento de los EPs H.323 que intervienen en la comunicación, incluyendo el intercambio de las capacidades de cada terminal, la apertura y cierre de canales lógicos, mensajes de control de flujo y comandos e indicadores generales.

Además, los terminales deben mantener un canal de control H.245 por cada llamada en la que el terminal esté participando; por lo tanto si un terminal está participando en forma simultánea en varias llamadas, este puede tener también varios canales de control H.245 abiertos [38].

- *Canal de Señalización de Llamada H.225/Q.931*. Se emplea para transportar mensajes de control. Existen dos tipos de señalización: *señalización directa*, en la que no hay la necesidad de un GK ya que los mensajes son transmitidos directamente entre los EPs utilizando las *Direcciones de Transporte de Señalización de Llamada (CSTA)*, y la *señalización indirecta*, en la cual se envía un mensaje inicial al GK [39].
- *Canal RAS H.225.0*. Proporciona un control de pre-llamadas donde existen una zona y un GK. Este canal es independiente de la señalización del control de llamadas y de los canales de transporte de medios.

A través de este canal, el terminal realiza las funciones de registro, admisión, solicitud de ancho de banda, restricción de la entrada de un EP en la zona, desenlace de control (dar de baja a un EP de un GK y su zona a la cual corresponde) y descripción de los métodos para manejar audio, vídeo y datos [40].

- *Mecanismos Adicionales*. Se definen varios protocolos para seguridad, servicios suplementarios y cortafuego (*firewall*) transversal:

- *Seguridad H.235*. Provee seguridad y encriptación para los terminales multimedia. Los canales de *Registro, Admisión y Estado (RAS)* utilizados para la señalización de GW a GK no son canales seguros. Para asegurar esta comunicación H.235 permite a los GWs incluir una clave de autenticación en sus mensajes RAS.
- *Servicios Suplementarios H.450*. Es un conjunto de estándares que agregan funciones básicas de gestión de llamadas a un terminal. Estos protocolos se muestran en la tabla 3.2.

SERVICIOS SUPLEMENTARIOS	
PROTOCOLO	FUNCIÓN
H.450.1	Funciones genéricas para el control de servicios suplementarios en H.323
H.450.2	Transferencia de llamada
H.450.3	Desvío de llamada
H.450.4	Mantener llamada
H.450.5	Captura de llamada
H.450.6	Llamada en espera
H.450.7	Indicación de mensaje en espera
H.450.8	Servicios de identificación de nombres
H.450.9	Servicios de terminación de llamada en Redes H.323

Tabla 3.2 Servicios Suplementarios de H.323

- *Firewall Transversal H.460*. Es una serie de extensiones para el estándar de videoconferencia H.323 de la ITU. Introducido en 2005, y posee varias extensiones incluyendo H.460.17, H.460.18 y H.460.19, que se ocupan del firewall y de la *Traducción de Dirección de Red (NAT)*.

3.2 PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN

Tiene sus orígenes a fines de 1996 cuando fue desarrollado por el *Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF)* dentro del grupo de trabajo de *Control de Sesión Multimedia Multipartidaria (MMUSIC)* como un componente de la *Trocal de Multidifusión (Mbone)*, que era una Red experimental montada sobre la Internet para la distribución de contenido multimedia incluyendo charlas, seminarios y conferencias de la IETF.

Este protocolo fue aprobado en marzo de 1999 y especificado en la RFC 2543. En primera instancia SIP fue casi ignorado, debido a que H.323 era considerado como el protocolo de elección para VoIP. Sin embargo, SIP comenzó a ganar popularidad a gran escala. En junio de 2002, el RFC 2543 fue reemplazado por un conjunto de nuevas recomendaciones entre las que se encuentran el RFC 3261, RFC 3262, RFC 3263, RFC 3264, RFC 3265 y RFC 3266 [41, 42, 43, 44, 45, 46].

Ha ido sustituyendo al H.323 debido a su simplicidad y a que es agnóstico frente a los equipos de Red necesarios para implantar la VoIP. Este protocolo permite a los usuarios participar en sesiones de intercambio de información multimedia soportando mecanismos de establecimiento, modificación y finalización de llamada.

3.2.1 Características de SIP

A continuación se citan sus características más sobresalientes:

- Inicia y dirige las sesiones (conexiones) entre dos o más participantes. Encargándose de crear, modificar y terminar una sesión.
- Se utiliza mucho debido a que cumple con los requisitos de simplicidad, extensibilidad, modularidad, escalabilidad e integración.
- No entrega flujos de medio, ni controla su entrega.
- Es orientado de extremo a extremo, es decir, que toda la lógica se almacena en los terminales, incluyendo el estado de la llamada (excepto el encaminamiento de mensajes). Esta característica es diferente a la RTC, en la que se almacena toda la lógica en los elementos de Red.

- Es de nivel de aplicación y utiliza el puerto 5060 para las comunicaciones. Es un protocolo relativamente simple, con una sintaxis similar a la del *Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP)*.
- Para el establecimiento y terminación de comunicaciones multimedia soporta los siguientes elementos funcionales: localización de usuarios, disponibilidad de usuarios, intercambio/negociación de capacidades de los terminales, establecimiento y mantenimiento de llamada.

3.2.2 Elementos y Funcionalidad de SIP

Presenta los siguientes componentes: *Terminal*, *Servidor* y *Pasarela*.

- *Terminales SIP*. Los clientes SIP envían solicitudes a un servidor, el cual una vez procesada la solicitud contesta con un mensaje de respuesta. Los terminales SIP, llamados también *Agentes de Usuario (UAs)*, por lo general suelen ser una aplicación en un equipo, aunque también podrían ser un *Asistente Personal Digital (PDA)*, teléfono IP, teléfono móvil, GW...

Un UA puede adoptar roles como cliente o servidor. Si un UA ha iniciado una petición SIP hacia otros terminales se le denomina *Agente de Usuario del Cliente (UAC)*; mientras que un *Agente de Usuario del Servidor (UAS)* es una aplicación de servidor que escucha y atiende las solicitudes SIP.

Los terminales pueden soportar servicios de presencia, incorporando *Agentes de Presencia (PAs)*. En estos casos son capaces de recibir solicitudes de suscripciones y generar notificaciones de cambios de estados.

Así como los terminales telefónicos clásicos se identifican mediante su número de teléfono o número de abonado; los terminales SIP se identifican a través de su "dirección SIP". Las direcciones SIP son identificadas mediante los denominados *Identificador de Recursos Uniforme (URI)*, que siguen la estructura *usuario@host*, donde *usuario* corresponde a un nombre, identificador o número telefónico y *host* es el dominio al que pertenece el usuario o dirección de Red.

- *Servidores SIP*. Realizan la resolución de nombres y la localización de usuarios, ya que todos los usuarios SIP registran sus direcciones en un servidor SIP. Los servidores SIP son servicios de software y pueden residir en un mismo equipo. SIP define los siguientes tipos de servidores:
 - *Servidor Proxy*. Se encarga de encaminar solicitudes y respuestas hacia el destino final. El encaminamiento se realiza de un servidor a otro hasta alcanzar el destino final. Para ubicar el destino se puede consultar un servidor de localización.

Este tipo de servidor no inicia solicitudes, únicamente responde a solicitudes provenientes de agentes. No tiene capacidad de manejar medios (audio, vídeo); no cambia ni interpreta los cuerpos de los mensajes, pues se basa exclusivamente en los campos de la cabecera del mensaje. Actúa como servidor o cliente y puede iniciar una llamada en nombre de un UA SIP. También puede transmitir una solicitud en nombre de un UA a otro *proxy* SIP.

- *Servidor de Registro*. Entidad SIP que recibe los registros de los usuarios mediante el intercambio de mensajes SIP. Éste, extrae la información sobre la ubicación actual del usuario (dirección IP, puerto, nombre de usuario) y almacena esta información en una base de datos de localización. Este servidor facilita la movilidad de usuarios, al actualizarla dinámicamente.
- *Servidor de Redirección*. Recibe las solicitudes, busca el destinatario en la base de datos de localización creado por el servidor de registro y transmite información a un UA sobre el destinatario con el que se desea comunicar (la dirección IP del destino).

Este servidor crea una lista de ubicaciones actuales de los posibles destinatarios y los envía como respuesta a quien origina la solicitud, de este modo, el UA utiliza esa información para iniciar la llamada. A

diferencia de los servidores proxy, los servidores de redirección no intervienen en el establecimiento de la comunicación, sino que informan la manera de ubicar al destino final.

- *Agente de Llamada (CA)*. Además de realizar las funciones de los tres servidores anteriores, esta entidad también puede realizar las siguientes acciones:
 - Localizar a un usuario mediante la redirección de la llamada a una o varias localizaciones.
 - Implementar servicios de redirección.
 - Implementar filtrado de llamada en función del origen o del instante de la llamada.
 - Almacenar información de administración de llamadas.
 - Realizar cualquier otra función de gestión.

- *Servidor de Localización*. Utilizado como un servidor de búsqueda. Puede ser consultado para obtener la dirección final de un usuario SIP.

- *Servidor de Presencia*. En ciertas ocasiones actúa como un agente de presencia y envía información de presencia a otros agentes; en otras ocasiones realiza funciones de proxy, redirigiendo las solicitudes de suscripciones a otros PAs.

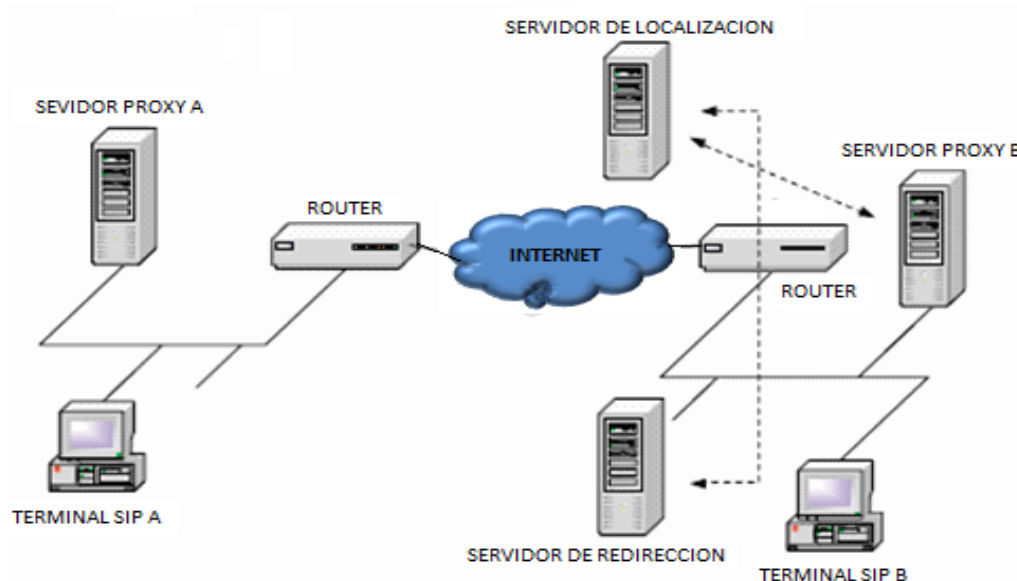


Figura 3.3 Esquema de Funcionamiento de los Servidores SIP

- *Interacción de los Servidores.* Además de interactuar unos con otros, éstos pueden interactuar con servicios de otra aplicación como los servidores de *Sistema de Nombres de Dominio (DNS)*, servidores de localización, una aplicación de base de datos o un *Lenguaje de Marcas Extensible (XML)*.

Estos servidores prestan servicios de directorio, autenticación y facturación. La relación entre los varios tipos de servidores SIP es ilustrada en la figura 3.3.

- *Pasarela SIP.* Al igual que en H.323, existen GWs SIP hacia la RTC y también hacia H.323. Los GWs son responsables de adaptar el audio,

vídeo y los datos; también la señalización entre los formatos propios de SIP y otras Redes de telecomunicaciones de manera transparente para los usuarios.

3.2.3 Protocolos relacionados directamente con SIP

SIP se apoya en otros protocolos para la definición de las sesiones y la comunicación, éstos se encuentran representados en la figura 3.4.

Para establecer conexiones con QoS se emplean protocolos como el *Multiprotocolo de Conmutación por Etiquetas (MPLS)*, el *Protocolo de Reserva de Recursos (RSVP)*, RTP y RTCP.

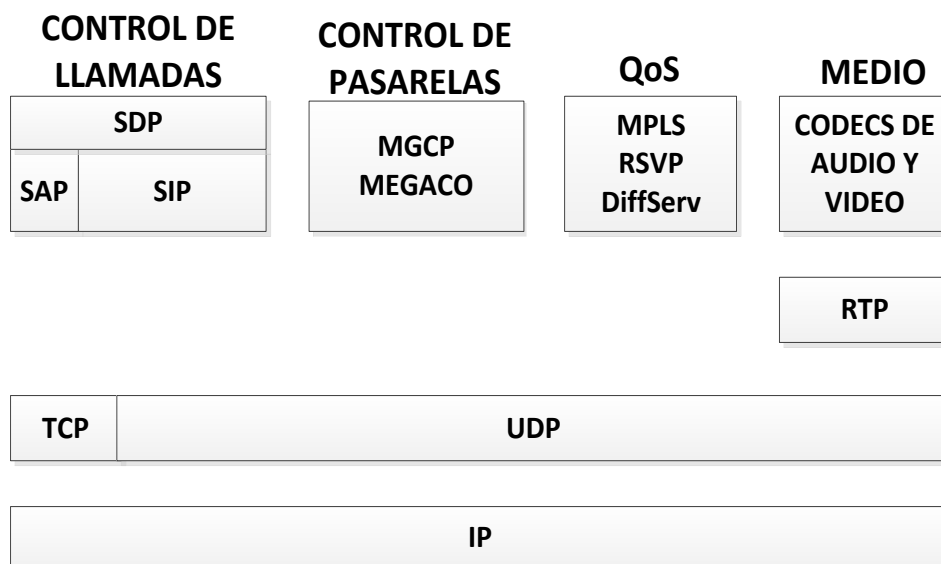


Figura 3.4 Situación del Protocolo SIP en la Arquitectura de Protocolos de Internet

- *Protocolo de Descripción de Sesión*. SIP usa el *Protocolo de Descripción de Sesión (SDP)* para describir las características de los terminales en una sesión. SDP no es realmente un protocolo, sino un esquema que permite definir un formato basado en texto, el cual describe los terminales multimedia con el fin de establecer los parámetros de la sesión. El formato SDP se estandariza en el RFC 2327 [47]. Todos los protocolos de señalización de VoIP utilizan este estándar con excepción de H.323.
- *Protocolo de Anuncio de Sesión*. El *Protocolo de Anuncio de Sesión (SAP)* estandarizado con el RFC 2974 es empleado por los administradores de sesión de multidifusión, con el fin de distribuir una descripción de la sesión de multidifusión a un gran grupo de destinatarios [48].

3.2.4 Mensajes SIP

Los mensajes SIP son cifrados empleando la sintaxis de mensajes definidos en el protocolo HTTP/1.1 (última versión); siguiendo el contenido de cada mensaje, las recomendaciones del SDP. SIP utiliza dos tipos de mensajes: solicitudes y respuestas. Las solicitudes son emitidas por los clientes y basadas en texto, mientras que las respuestas son emitidas por los servidores y son códigos numéricos.

MÉTODOS SIP		
MÉTODO	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
INVITE	RFC3261	Se usa con el fin de establecer una sesión entre UAs.
ACK	RFC3261	Reconocimiento para respuestas finales.
OPTIONS	RFC3261	Es utilizado para interrogar las capacidades y el estado de un UA o de un Servidor.
BYE	RFC3261	Permite la liberación de una sesión anteriormente establecida.
CANCEL	RFC3261	Es empleado para pedir el abandono de la llamada en curso. No tiene ningún efecto sobre una llamada ya aceptada.
REGISTER	RFC3261	Es empleado por un UA con el fin de indicar al Servidor de Registro la correspondencia entre su dirección SIP y su dirección de contacto.

Tabla 3.3 Métodos SIP

Solicitudes SIP

El RFC 3261 define seis solicitudes o métodos SIP principales. La tabla 3.3 resume los métodos SIP.

Extensiones de Métodos SIP

Existen otros métodos definidos en extensiones al protocolo SIP, las cuales son detalladas en la tabla 3.4.

EXTENSIONES DE MÉTODOS SIP		
EXTENSIÓN	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
INFO	RFC2976	Transporta información de control durante la sesión para el control de llamadas telefónicas.
PRACK	RFC3262	Reconocimiento para respuestas provisionales.
PUBLISH	RFC3903	Publica el estado del evento para su distribución a través de eventos SIP.
REFER	RFC3515	Petición al destinatario para referirse a un recurso específico e informar al remitente de los resultados.
SUBSCRIBE	RFC3265	Solicitudes de notificación asíncrona de eventos desde un nodo remoto.
NOTIFY	RFC3265	Informa al modo SUBSCRIBE del estado de un recurso.
UPDATE	RFC3311	Permite a un cliente actualizar parámetros de sesión sin impactar en el estado de un diálogo.
COMET	-----	Indica el cumplimiento de las condiciones previas entre los UAs.
MESSAGE	RFC3428	Transfiere un mensaje instantáneo sin necesidad de iniciar un diálogo.

Tabla 3.4 Extensiones de Métodos SIP

Respuestas SIP

Después de haber recibido e interpretado una petición SIP, su destinatario devuelve una respuesta. Las probables respuestas SIP se resumen en la tabla 3.5.

RESPUESTAS SIP		
TIPO DE CÓDIGO	CÓDIGO	FUNCIÓN
Códigos 1XX son informativos: Solicitud recibida / continuando el proceso de la solicitud.	100	Tratando
	180	Sonando
	181	La llamada está siendo reenviada
	182	En cola
Códigos 2XX indican éxito: Las solicitudes fueron recibidas exitosamente, entendidas y aceptadas.	200	Ok
	202	Aceptado
Códigos 3XX son de redirección: El proxy no quiere manejar la llamada. Estas respuestas son usualmente enviadas a los servidores proxy.	301	Movido permanentemente
	302	Movido temporalmente
	305	Usar Proxy
Códigos 4XX indican falla del cliente: La solicitud del cliente no es aceptada y no puede ser procesada por ese servidor.	400	Solicitud incorrecta
	404	Usuario no encontrado
	407	Autenticación de proxy requerida
Códigos 5XX indican falla en el servidor: Indican un problema encontrado en el servidor. La solicitud es aparentemente válida pero no puede ser cumplida. Los clientes deberían intentar la petición más tarde.	500	Error interno del servidor
	501	No implementado
	502	Pasarela incorrecta
Códigos 6XX indica falla global: La solicitud no puede ser cumplida por ningún servidor.	600	Ocupado
	604	No existe en ninguna parte

Tabla 3.5 Respuestas SIP

3.3 PROTOCOLO DE CONTROL DE PASARELA DE MEDIOS

Es una de las implementaciones de la Media Gateway Control Protocol Architecture para el control de *Pasarelas de Medios (MG)* sobre IP y sobre la

RTC [49]. Es el sucesor del *Protocolo Simple de Control de Puerta de Enlace (SGCP)*, que fue desarrollado por Bellcore y Cisco para el control de pasarelas de telefonía [50].

En 1998 se origina MGCP con la combinación de SGCP y el *Control de Dispositivo de Protocolo de Internet (IPDC)*, desarrollado por Level 3 Communications [51]. Un año más tarde el MGCP fue publicado por el IETF en el RFC 2705. La actual definición de MGCP se encuentra en el RFC 3435, que deja obsoleta la anterior [52]. Se emplea dentro de sistemas de VoIP y típicamente operan en conjunto con la RTC.

3.3.1 Características de MGCP

Se citan las principales características del protocolo MGCP:

- Su despliegue fue muy extenso; sin embargo, rápidamente fue perdiendo espacio frente a SIP e IAX, y de a poco MEGACO fue quitándole terreno en soluciones con troncales o grandes cantidades de abonados de la RTC.
- Diseñado para hacer a los dispositivos terminales (teléfonos) tan simples como sea posible.

- Al presentar un modelo centralizado tiene la ventaja de centrar la administración del GW y proporcionar soluciones de VoIP escalables en gran medida.
- Emplea el SDP para el intercambio de parámetros (dirección IP, puerto del *Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP)*, codificadores a utilizar), con los que se realiza una sesión.
- MGCP es más simple que MEGACO en muchos aspectos.

3.3.2 Elementos y Funcionalidad de MGCP

Implementa un modelo centralizado basado en dos funcionalidades claves:

- Los puntos finales son dispositivos de baja inteligencia, pues los teléfonos MGCP no pueden llamar directamente a otros teléfonos MGCP, debido a que siempre deben encaminar las llamadas a través de algún tipo de controlador. Por lo que en su mayoría los EPs simplemente ejecutan órdenes de control.
- La potencia de la Red reside en el centro de control de llamada (*softswitch*, similar a la oficina central de la RTB).

La implantación de este protocolo consta de los siguientes elementos:

- *Pasarela de Medios*. Es un dispositivo de traducción o servicio que convierte los flujos de medios digitales entre diferentes Redes de telecomunicaciones; es así que realiza la conversión de las señales de los medios de comunicación entre los circuitos y las Redes basadas en la conmutación de paquetes.
- *Agente de LLamada*. Es una entidad inteligente que controla las conexiones en un MG; cuando se utiliza en el contexto de MGCP es conocido como un *Controlador de Pasarela de Medios (MGC)*.
- *Pasarela de Señalización (SG)*. Es empleado cuando se conecta a la RTC para realizar la conversión entre Redes.

Un GW tradicional ofrece conectividad y traducción entre dos Redes incompatibles como lo son la PSN y la SCN. En esta función, el GW realiza la conversión del flujo de datos y además la conversión de la señalización, bidireccionalmente.

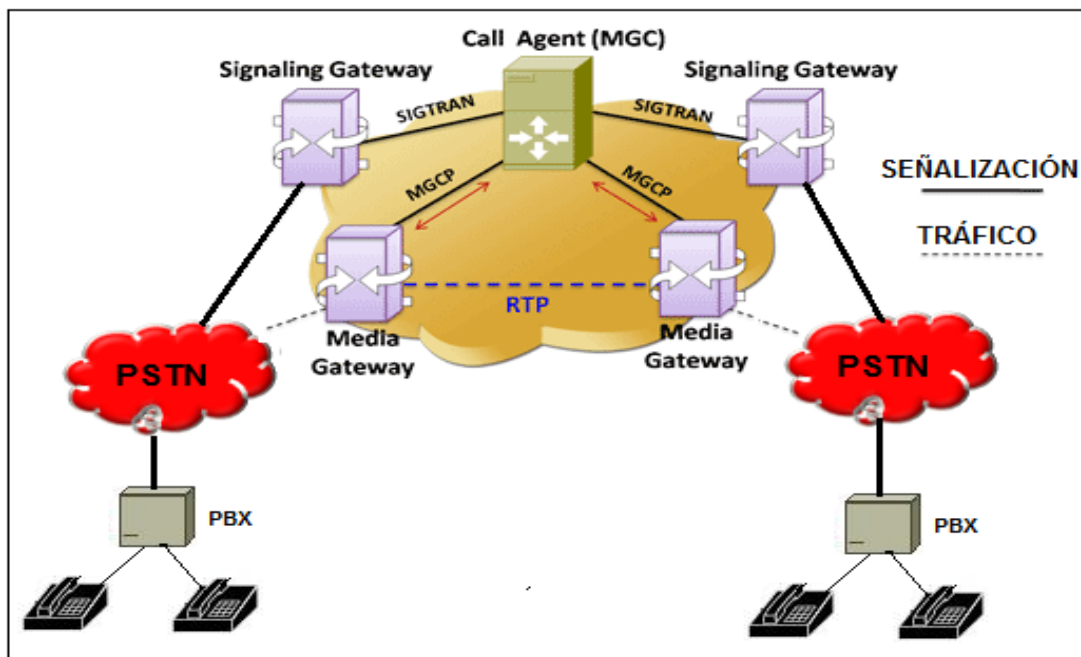


Figura 3.5 Funcionamiento del Protocolo MGCP

Estas funciones se encuentran conceptualmente separadas por el MGCP en los tres elementos previamente señalados. Así, el MG efectúa la conversión del contenido multimedia, el MGC lleva a cabo el control de la señalización del lado IP, mientras que el control de la señalización del lado de la SCN es realizado por el SG, tal como se observa en la figura 3.5.

La introducción de esta división en los roles se establece con la finalidad de aliviar de las tareas de señalización a la entidad que gestiona la transformación del audio para ambos lados, concentrando en el MGC el procesamiento de la señalización.

3.3.3 Protocolos relacionados directamente con MGCP

MGCP utiliza el SDP para especificar y negociar los flujos de medios a transmitir en una sesión de llamada, y el RTP para la elaboración de los flujos multimedia.

El sistema de GW distribuido y el MGCP podrían permitir a usuarios de la RTC acceder a sesiones establecidas utilizando SAP, RTCP y SIP.

SAP es empleado con el objetivo de distribuir una descripción de la sesión de multidifusión a un gran grupo de destinatarios, tal como es utilizado en SIP. RTCP es empleado para conectar un servidor que proporciona datos en tiempo real. Los protocolos asociados a MGCP están representados en la figura 3.6.

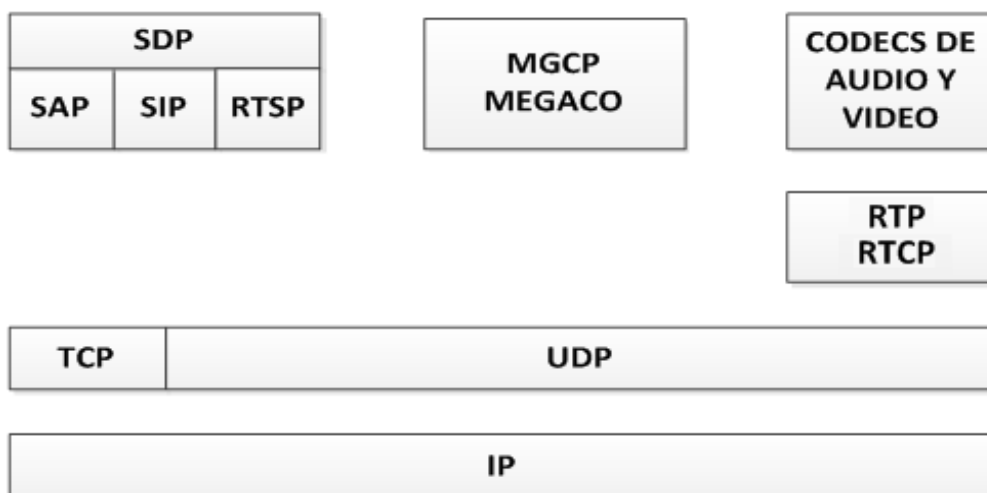


Figura 3.6 Protocolos relacionados con MGCP

3.3.4 Órdenes del Protocolo MGCP

El MGCP asume que los CAs se sincronizan entre sí para enviar solicitudes y respuestas coherentes a los GWs bajo su control. De esta manera es como el MGCP implementa la interfaz de control del MG, como un conjunto de transacciones. Las transacciones se componen de una orden y una respuesta obligatoria. Hay ocho tipos de órdenes en este protocolo y se detallan en la tabla 3.6.

ÓRDENES		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
Create Connection (CRCX)	Este comando es utilizado por un CA para administrar una conexión RTP en un MG	Crea una conexión entre dos EPs, utilizando el SDP para definir la capacidad de recepción de los terminales participantes
Modify Connection (MDCX)	Este comando es utilizado por un CA para administrar una conexión RTP en un MG	Modifica las propiedades de una conexión
Delete Connection (DLCX)	Este comando es utilizado por un CA para administrar una conexión RTP en un MG	Termina una conexión y recoge estadísticas sobre la ejecución de la misma
Notification Request (RQNT)	Es enviado por el CA a un MG	Utilizado por un CA para solicitar una notificación sobre la ocurrencia de eventos específicos en un extremo
Notify (NTFY)	Es enviado por el MG a el CA	Informa al MGC cuando se producen eventos observados
Audit Endpoint (AUEP)	Es enviado por el CA a un MG	Determina el estado de los EPs
Audit Connection (AUCX)	Es enviado por el CA a un MG	Recupera los parámetros relacionados con una conexión
Restart in Progress (RSIP)	Es enviado por el MG a el CA	Indica que el CA está en proceso de reinicio

Tabla 3.6 Órdenes del Protocolo MGCP

3.4 PROTOCOLO MEGACO

MEGACO conocido también como H.248 es un protocolo que define los mensajes de señalización de llamada, registro y control; que al igual que MGCP se utiliza principalmente por los proveedores de servicios de telefonía, ya que permite controlar de manera eficiente gran cantidad de GWs que a su vez poseen gran cantidad de abonados de la RTC.

Es el resultado de los esfuerzos conjuntos de la IETF y el *Grupo de Estudio 16 (SG16)* de la ITU. En 1998 Lucent Technologies presentó un proyecto llamado *Protocolo de Control de Dispositivo de Medios (MDCP)* para ser usado por MGs y sus controladores [53]. En abril de 1999 la IETF y el SG16 fusionó MGCP y MDCP y propuso un nuevo protocolo mejorado denominado protocolo MEGACO, el cual se publicó como estándar en la RFC 3015 en noviembre de 2000 [54]. La ITU ha publicado tres versiones de H.248, siendo la más reciente en septiembre de 2005 [55]. H.248 no sólo abarca la especificación del protocolo base en H.248.1, además contiene muchas extensiones definidas en toda la sub-serie de H.248.

3.4.1 Características de MEGACO

A continuación se citan sus principales características:

- Usa SDP y RTP.

- Implanta control de tipo maestro/esclavo, es decir, no puede funcionar sin un dispositivo de control (*softswitch*).
- Se utiliza para separar la lógica del control de llamada, de la lógica del medio de procesamiento en un GW.
- No fue pensado para terminales, debido a que se concentra toda la inteligencia de Red en el MGC.
- Establece un marco general adecuado para GWs, MCUs y unidades de *Respuesta Interactiva de Voz (IVR)*.
- Debido a los tipos de dispositivos específicos para el control de H.248 y el bajo nivel de su estructura de control, este estándar es generalmente visto como un complemento de H.323 y SIP.
- Todos los mensajes están en el formato de *Resumen de Sintaxis de Notación Uno (ASN.1)*.
- La realización de H.248 surge como necesidad de proporcionar diversos requisitos que no han sido atendidos correctamente por MGCP. H.248 y MGCP son diferentes y no son directamente compatibles.

3.4.2 Arquitectura MEGACO

La idea inicial de MEGACO fue la de utilizar las Redes de paquetes como backbone para la comunicación de tráfico de voz originado por Redes tradicionales. Los operadores tradicionales han sido los que mayor interés han demostrado en las ventajas que brinda este protocolo; pensando en integrar progresivamente sus SCNs y sus PSNs en una Red homogénea que fuera transparente a los usuarios finales y que sirva para transportar ambos tipos de tráfico (voz y datos).

Partiendo de la idea de que MEGACO nace de la estructura de MGCP, entonces sus arquitecturas son similares. Es así que, H.248 divide los GWs en 2 entidades:

- *Controlador de Pasarela de Medios*. Proporciona la señalización H.323 o SIP y realiza la proyección entre la señalización de Redes tradicionales y las Redes de paquetes. H.248 define el protocolo para MGC con el objetivo de controlar los MGs.
- *Pasarela de Medios*. Proporciona la adaptación de medios y/o las funciones de transcodificación. Este bloque realiza las funciones de envío/recepción de dígitos, cancelación de eco, traslación de direcciones...

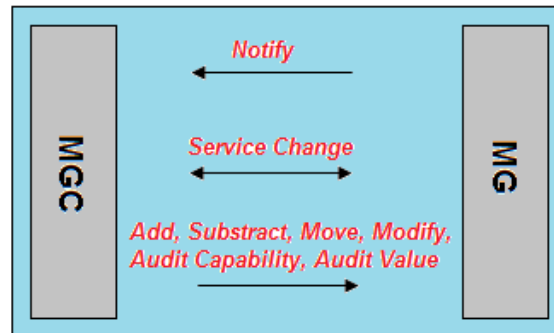


Figura 3.7 Interacción entre el MGC y el MG en H.248

El MG debe soportar una variedad de señales y medios de comunicaciones en las terminaciones. Una terminación de un tipo dado es descrita por un paquete. Un paquete puede ser: una definición de las propiedades de las terminaciones, eventos que pueden ser detectados y reportados, formatos de señales, estadísticas que pueden ser recopiladas o códigos de errores adicionales para terminaciones particulares. Los paquetes básicos incluyen TDM, RTP, receptores de *Multifrecuencia con Doble Tono (DTMF)*...

Un MG típico soporta muchas conexiones simultáneas. Las interacciones del MGC para controlar el MG están dadas por ocho órdenes soportadas por el protocolo, tal como se muestra en la figura 3.7. En circunstancias comunes los dos elementos están físicamente separados de modo que pueden suministrar ventajas como la conglomeración de muchos MG (conectados a usuarios finales) en algunos MGC. La figura 3.8 muestra la arquitectura de MEGACO.

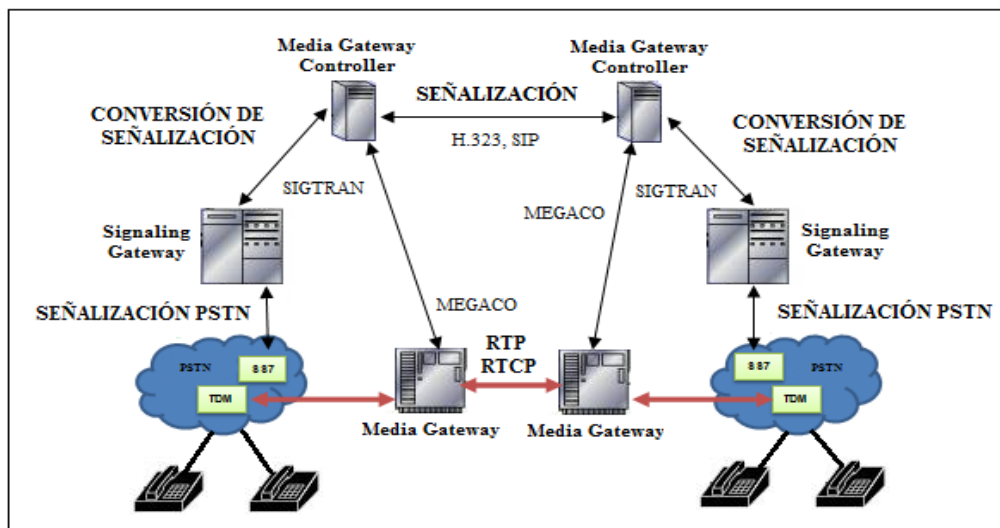


Figura 3.8 Esquema de la Arquitectura del Protocolo MEGACO

3.4.3 Órdenes de MEGACO

Para entender el procesamiento de los órdenes de MEGACO es necesario conocer las principales entidades con las que se desarrolla el protocolo: *Contextos y Terminaciones*.

- *Terminaciones*. Es una entidad lógica en el MG que representa el origen o destino de uno o varios flujos multimedia. Una Terminación es descrita por una serie de propiedades que se agrupan en un conjunto de Descriptores, los cuales están incluidos en los comandos. Las Terminaciones pueden ser físicas o efímeras.

Las Terminaciones físicas representan entidades físicas que tienen una existencia semi-permanente; mientras que las Terminaciones efímeras

representan conexiones o flujos de datos, y por lo general sólo existen durante su uso en un Contexto particular.

- *Contextos*. Son conexiones creadas mediante la asociación de Terminaciones múltiples. Un Contexto *NULL* contiene todas las Terminaciones no asociadas. Los Contextos se crean y se liberan por el MG bajo el mando del MGC.

El modelo de conexión es manipulado por las órdenes de MEGACO. Las órdenes son descritas en forma de una *Interfaz de Programación de Aplicación (API)*. Cada orden API especifica los parámetros de los comandos conocidos como Descriptores en MEGACO. Los Descriptores son el conjunto de parámetros definidos como constituyentes comunes de una Terminación, tal como: tipos de multiplexores, tipos de módems, el medio de comunicación o el estado de la Terminación. Tanto los Descriptores como las órdenes API son expuestos en detalle en la tabla 3.7 y 3.8 respectivamente.

DESCRIPTORES	
NOMBRE	FUNCIÓN
Specifying Parameters	Los parámetros del comando son estructurados en un número de Descriptores.
Modem Descriptor	Especifica el tipo de módem y parámetros.

Multiplex Descriptor	Asocia el medio y los portadores.
Media Descriptor	Especifica los parámetros para todas las transmisiones multimedia.
Termination State Descriptor	Contiene propiedades que no son flujos específicos.
Stream Descriptor	Especifica los parámetros de un sólo flujo bidireccional.
LocalControl Descriptor	Contiene propiedades que no son flujos específicos y que son de interés entre el MG y el MGC.
Local and Remote Descriptors	El MGC utiliza este Descriptor para reservar y comprometer recursos del MG para medios de codificación y decodificación de los flujos dados y Terminación a la cual aplican.
Events Descriptor	Contiene un identificador de solicitudes y una lista de eventos que el MG solicita para detectar y reportar.
EventBuffer Descriptor	Contiene una lista de eventos con sus parámetros.
Signals Descriptor	Es un parámetro que contiene un conjunto de señales que el MG pide para aplicar a una Terminación.
Audit Descriptor	Especifica que información se va a auditar.
ServiceChange Descriptor	<p>Contienen los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> . ServiceChangeMethod . ServiceChangeReason . ServiceChangeAddress . ServiceChangeDelay . ServiceChangeProfile . ServiceChangeVersion . ServiceChangeMGCIId . TimeStamp . Extension
DigitMap Descriptor	Es un plan de marcación residente en el MG, usado para detectar y reportar eventos de dígitos recibidos en una Terminación.
Statistics Descriptor	Proporciona información que describe el estado y el uso de una Terminación durante su existencia dentro de un Contexto específico.

Packages Descriptor	Usado sólo con el comando AuditValue; retorna una lista de paquetes realizada por la Terminación.
ObservedEvents Descriptor	Es suministrado con el comando Notify para informar al MGC cuáles eventos fueron detectados.
Topology Descriptor	Es utilizado para especificar direcciones de flujo entre Terminaciones en un Contexto. Contrariamente a los Descriptores anteriores, este Descriptor se aplica a un Contexto en lugar de una Terminación.

Tabla 3.7 Descriptores del Protocolo H.248

ÓRDENES DE APLICACIÓN DE INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN	
NOMBRE	FUNCIÓN
Add	Agrega una Terminación a un Contexto; creando el Contexto si no se ha especificado.
Modify	Cambia o suministra valores perdidos de las propiedades de la conexión, eventos a ser notificados y señales para una Terminación.
Subtract	Remueve una Terminación de un Contexto y reporta las estadísticas sobre la participación de la Terminación en el Contexto.
Move	Mueve una Terminación de un Contexto a otro.
AuditValue	Devuelve los valores actuales asociados con las Terminaciones.
AuditCapabilities	Retorna todos los posibles valores asociados con las Terminaciones.
Notify	Permite al MG reportar eventos específicos al MGC.
ServiceChange	Permite que el MG notifique al MGC que una Terminación o grupo de Terminaciones están a punto de quedar fuera de servicio o que ha sido puesto en servicio.

Tabla 3.8 Órdenes API del Protocolo H.248

3.5 PROTOCOLO DE INTERCAMBIO ENTRE ASTERISK

Inicialmente desarrollado para realizar conexiones VoIP entre servidores Asterisk. Su diseño se basó en muchos estándares de comunicación de datos incluidos SIP, MGCP y RTP. IAX2 es la versión actual, la cual se encuentra estandarizada en el RFC 5456 [56]. La versión 1 de IAX, aunque en cierto modo similar en diseño a la versión 2, utilizó un puerto diferente y no fue ampliamente desplegada.

3.5.1 Características de IAX

A continuación se citan sus principales características:

- IAX es un protocolo "todo en uno" para el manejo de flujos multimedia sobre IP, en el que combina los servicios de control y los de medios de comunicación.

- Pertenece al nivel de aplicación encargado de crear, modificar y finalizar sesiones multimedia sobre Internet.

- Los puertos UDP estáticos de IAX hacen que el tráfico sea fácil de controlar para los administradores de Red al momento de configurar, establecer prioridades y pasar a través de firewalls.

- Es robusto, completamente equipado y muy simple en comparación con otros protocolos.
- Su habilidad de transmitir múltiples sesiones sobre un mismo flujo le permite reducir la sobrecarga asociada con canales individuales, lo que a su vez contribuye a reducir la latencia, la potencia de procesamiento y el ancho de banda requerido.
- Altamente escalable con un gran número de canales activos entre los extremos finales.
- Optimizado para VoIP: el empleo de un ancho de banda menor es una prioridad; convirtiéndolo en un protocolo eficiente, ya que considera las necesidades actuales.
- Estándar de código abierto apoyado por muchos otros proyectos de telecomunicaciones de código abierto, así como por varios proveedores de hardware.
- Su naturaleza abierta permite nuevas incorporaciones de ser necesaria para apoyar servicios adicionales.

- Es extremadamente flexible, permitiendo manejar una gran cantidad de CODECs y un gran número de flujos. Esto significa que puede ser utilizado para transportar virtualmente cualquier tipo de información; capacidad que lo hace muy útil para realizar videoconferencias o presentaciones remotas.

3.5.2 Elementos y Funcionalidad de IAX

La estructura básica de IAX es de una arquitectura de extremo a extremo orientada a VoIP, que multiplexa señalización y flujos multimedia sobre un solo puerto UDP (generalmente el 4569), para comunicaciones entre EP. Incluye funciones de control y de medios de comunicación.

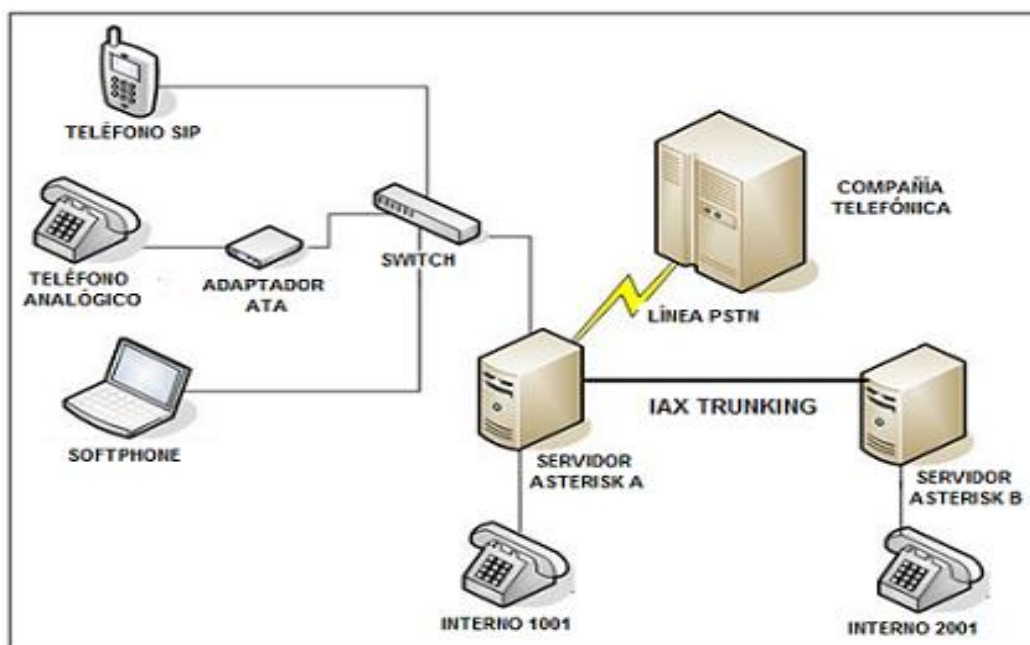


Figura 3.9 Esquema del Protocolo IAX

Además puede registrar localizaciones, crear, modificar, terminar sesiones multimedia y transportar flujos de medios actuales especificados por las sesiones que administra. Y posee la ventaja de transmitir múltiples sesiones en un solo flujo de datos (figura 3.8).

En las comunicaciones basadas en IAX, el Asterisk puede operar de dos formas diferentes:

- *Servidor.* Asterisk admite registros de clientes IAX, pudiendo ser estos clientes hardware, software u otros Asterisk.
- *Cliente.* Asterisk puede registrarse en otros Asterisk o en operadores IP que utilicen este protocolo.

El principal objetivo de IAX se concentra en minimizar el ancho de banda usado en las transmisiones de control y multimedia de VoIP con particular atención al control y a las llamadas de voz, esto lo consigue gracias a que es un protocolo binario que hace que los mensajes usen menos ancho de banda.

Finalmente, otro de los grandes objetivos de IAX es el de brindar soporte para transmitir planes de marcación.

3.5.3 Órdenes del Protocolo IAX

En la estructura de IAX se presentan un sin número de mensajes mediante los cuales se pueden negociar los parámetros necesarios para establecer una sesión. Estos mensajes se dividen en varias áreas funcionales y se encuentran detallados en la tabla 3.7.

MENSAJES GENERALES			
ÁREAS FUNCIONALES	NOMBRES		FUNCIONES
REGISTRATION (OPTIONAL)	Registration Request Message	REGREQ	Utilizado para una solicitud de registro inicial y para una respuesta a un mensaje REGAUTH
	Registration Authentication Response Message	REGAUTH	Es una respuesta a un REGREQ o REGREL. Se envía cuando un registrador requiere autenticación para el registro
	Registration Acknowledgment Message	REGACK	Se envía en respuesta a un REREQ
	Registration Rejection Message	REGREJ	Indica que una solicitud de registro ha sido rechazada
	Registration Release Request Message	REGREL	Utilizada por el solicitante de registro para una liberación forzada de un registro previo
CALL LEG MANAGEMENT	NEW Request Message	NEW	Es enviado para iniciar una llamada
	ACCEPT Response Message	ACCEPT	Es emitido cuando un mensaje NEW es recibido
	REJECT Response Message	REJECT	Es enviado para indicar que una solicitud NEW, AUTHREP, DIAL o ACCEPT ha sido denegada
	HANGUP Request Message	HANGUP	Indica que una llamada ha terminado
	AUTHREP Authentication Reply Message	AUTHREP	Es enviado en respuesta a un AUTHREQ
	AUTHREQ Authentication Request Message	AUTHREQ	Es enviado en respuesta a un mensaje NEW si se requiere autenticación para que la llamada sea aceptada

CALL CONTROL	PROCEEDING Response Message	PROCEEDING	Debería ser enviada al llamante cuando su petición de llamada está siendo procesada por un elemento adicional de la Red
	RINGING Response Message	RINGING	Indica que la petición de llamada ha sido procesada y se está avisando de la llamada
	ANSWER Response Message	ANSWER	Es emitido desde el llamado para indicar que se ha aceptado la solicitud de llamada y se está comunicando con el llamado
MID-CALL LINK OPERATIONS	FLASH Request Message	FLASH	Es enviado para indicar una característica durante la llamada
	HOLD Request Message	HOLD	Es enviado para que el sistema remoto detenga la transmisión de audio en el canal y sea reemplazada opcionalmente con música u otro sonido
	UNHOLD Request Message	UNHOLD	Es enviado para que el sistema remoto reanude el audio en el canal
	QUELCH Request Message	QUELCH	Similar a HOLD con la diferencia que sólo se puede usar en llamadas iniciadas mediante el mensaje NEW
	UNQUELCH Request Message	UNQUELCH	Es enviado para que el sistema remoto reanude el audio en el canal
	TRANSFER Request Message	TRANSFER	Causa que el par (<i>peer</i>) receptor reinicie la llamada utilizando otro número especificado
CALL PATH OPTIMIZATION	TXREQ Transfer Request Message	TXREQ	Es enviado para iniciar el proceso de transferencia
	TXCNT Transfer Connectivity Response Message	TXCNT	Se utiliza para verificar la conectividad
	TXACC Response Message	TXACC	Se envía como respuesta a TXCNT
	TXREADY Transfer Ready Response Message	TXREADY	Indica que el peer emisor ha verificado la conectividad con el interlocutor que fue instruido para transferir la llamada
	TXREL Transfer Release Response Message	TXREL	Indica que el proceso de transferencia ha sido completado exitosamente
	TXMEDIA Transfer Media Message	TXMEDIA	Indica que el proceso de transferencia del medio ha sido completado exitosamente
	TXREJ Transfer Rejection Response Message	TXREJ	Podría ser enviado en cualquier momento durante el proceso de transferencia para indicar cuál transferencia no pudo ser procesada

CALL TEAR DOWN	HANGUP Request Message	HANGUP	Indica que una llamada ha terminado
	REJECT Response Message	REJECT	Es enviado para indicar que una solicitud NEW, AUTHREP, DIAL o ACCEPT ha sido denegada
	TRANSFER Request Message	TRANSFER	Causa que el par receptor reinicie la llamada utilizando otro número especificado
	TXREADY Transfer Ready Response Message	TXREADY	Indica que el par emisor ha verificado la conectividad con el interlocutor que fue instruido para transferir la llamada
NETWORK MONITORING	POKE Request Message	POKE	Es enviado para probar la conectividad de un peer IAX remoto
	PING Request Message	PING	Es enviado para probar la conectividad del EP IAX remoto en una llamada existente
	PONG Response Message	PONG	Es una respuesta a un mensaje PING o PONG
	LAGRQ Lag Request Message	LAGRQ	Se envía para determinar el retardo entre dos EPs IAX, incluyendo la cantidad de tiempo utilizado para procesar una trama a través de una memoria intermedia de fluctuación
	LAGRP Lag Response Message	LAGRP	Es enviado en respuesta a un mensaje LAGRQ
DIGIT DIALING	DPREQ Dial Plan Request Message	DPREQ	Es una solicitud para el servidor para analizar el número de la última llamada que se realizó y determinar si hay un patrón de marcación válido en el peer remoto
	DPREP Dial Plan Response Message	DPREP	Es una respuesta a un DPREQ
	DIAL Request Message	DIAL	Se utiliza con los peers IAX que no mantienen su propio encaminamiento de llamadas (dialplan)
MISCELLANEOUS	Acknowledgment Message	ACK	Confirma la recepción de un mensaje IAX
	Invalid Response Message	INVAL	Se envía como respuesta a un mensaje recibido que no es válido
	Voice Negative Acknowledgment Message	VNAK	Se envía cuando se recibe un mensaje fuera de orden
	Message Waiting Indicator Request Message	MWI	Indica a un interlocutor remoto que tiene uno o más mensajes en espera
	Unsupported Response Message	UNSUPPORT	Para indicar que no está respaldado por un peer IAX

MEDIA MESSAGES	DTMF Media Message	El mensaje porta un solo dígito de DTMF (Dual Tone Multi-Frequency)
	Voice Media Message	El mensaje porta datos de voz e indica el CODEC usado
	Video Media Message	El mensaje porta datos de vídeo e indica el formato de vídeo de los datos
	Text Media Message	El mensaje porta un texto en formato UTF-8 (RFC3629)
	Image Media Message	El mensaje porta una sola imagen
	HTML Media Message	Transporta HTML y datos relacionados, tal como en una página HTML
	Comfort Noise Media Message	Este mensaje indica cuál ruido de confort debería ser empleado

Tabla 3.9 Mensajes del Protocolo IAX

CAPÍTULO 4

FUTURO DE LA VOIP

Este capítulo se enfoca en los retos que se deben considerar al momento de la implementación de servicios basados en VoIP, tales como: QoS, IPv6, NGN, seguridad dependiendo de los protocolos de señalización empleados y la capacidad de estos estándares para trabajar con NAT.

4.1 CALIDAD DE SERVICIO

La QoS es importante para el éxito de los servicios de la VoIP. A través de los años los mecanismos de QoS se han vuelto más y más sofisticados; por tal razón, en la actualidad se puede contar con mecanismos de QoS desde

Redes de pequeña extensión geográfica (o poco número de equipos) hasta Redes gigantes (de gran extensión geográfica o número de dispositivos).

Una Red ofrece QoS si fuera capaz de distinguir y gestionar un conjunto de paquetes coherentes con el fin de satisfacer los requisitos de la aplicación que genera. Por ende en VoIP, QoS significa simplemente ser capaz de escuchar y hablar con una voz clara y continua, sin ruidos no deseados.

Existen métodos para QoS en VoIP, pero ninguno puede ser categorizado como el mejor o el peor, pues el uso de cada uno de estos mecanismos dependerá de un sin número de características a tener presente, tales como la arquitectura de la Red, la infraestructura, protocolos empleados, seguridad y el nivel de QoS que se desee obtener [57].

Es así como múltiples trabajos concernientes a estos métodos se han desarrollado, en los cuales se consideran distintas simulaciones para mostrar en que ambientes se comportan de manera más eficiente. En esta sección se detallan las principales maneras de aplicar QoS en VoIP. Los modelos en cuestión son presentados a continuación:

- *Best Effort*. Es el enfoque tradicional, en el cual Internet maneja todos los paquetes como si tuvieran igual prioridad de comunicación en un

encaminador. Este modelo no proporciona mecanismos para garantizar QoS [58].

Es utilizado cuando se dispone del suficiente ancho de banda para asegurar que no se produzcan problemas de congestión; razón por la cual se emplea únicamente para Redes telefónicas. Esta técnica es utilizada gracias a que las prestaciones del nivel físico sobre las que funciona Internet han ido mejorando con el tiempo, siendo capaz de ofrecer mayor ancho de banda. Sin embargo, este sistema presenta complicaciones para la prestación de servicios que requieren la transmisión de datos en tiempo real, puesto que la llegada de datagramas IP desordenados o su pérdida pueden llegar a afectar de manera crítica a la QoS.

Este esquema de diseño se elige cuando el costo del ancho de banda para el proveedor del servicio es barato o porque sus conocimientos de QoS son limitados (esto último no suele ocurrir en operadores de gran escala).

- *Servicios Integrados (IntServ)*. El segundo modelo de QoS usa una arquitectura plana de control y datos; posee las aplicaciones para señalar los requisitos de QoS de la Red [59]. El RSVP es el que lleva a cabo esta solicitud [60].

Este modelo podría no escalar bien en una Red de servicios de gran extensión geográfica o número de encaminadores, debido a la gran cantidad de señalización en una llamada y a los ajustes que se deben realizar. IntServ también proporciona control de admisión, el cual puede ser basado en políticas de Red o recursos disponibles.

- *Servicios Diferenciados (DiffServ)*. El tercer modelo de QoS usa una arquitectura plana sólo de datos. A diferencia de IntServ, éste no tiene incorporado recursos o políticas de control de admisión; gracias a esto permite escalabilidad, razón por la cual muchos proveedores de servicio hoy en día utilizan este modelo como su arquitectura de QoS [61, 62, 63]. DiffServ provee dos funciones principales:
 - En la primera marca los paquetes con la clase de tráfico correcta, es decir, el encaminador extremo del proveedor de servicio o GW VoIP tiene políticas de tráfico entrante, así que marca los paquetes con el correcto valor de *Punto de Código de Servicios Diferenciados (DSCP)*, el cual sirve para clasificar el tráfico.
 - En segundo lugar, DiffServ maneja estos paquetes marcados apropiadamente para utilizar un procedimiento definido llamado *Comportamiento por Salto (PHB)*, el cual debe ser implementado en

todos los encaminadores. PHB define el tratamiento de QoS para cada clase de tráfico que fluya a través de un encaminador.

Su debilidad radica en que al no tener consciencia de camino reservado para una aplicación concreta, esta arquitectura no es sensible a cambios bruscos en variaciones de ese camino y por lo tanto degrada una llamada en curso.

Sin embargo, este modelo es ampliamente utilizado y la razón principal para la acogida de DiffServ por encima de IntServ es la escalabilidad de este último y el costo en recursos que representa conservar información de estado sobre cada flujo activo en cada encaminador del trayecto. En los encaminadores del backbone de Internet esto supone mantener tablas con miles de entradas que se han de estar actualizando constantemente [64].

Otras técnicas muy empleadas para el control de QoS se exponen a continuación:

- *MPLS*. Representa una solución clásica y estándar al transporte de información en las Redes. Esta técnica combina tanto la flexibilidad de las comunicaciones punto a punto como la fiabilidad, calidad y seguridad de

los servicios Frame Relay o ATM [65]; por lo que está reemplazando rápidamente a estos servicios, convirtiéndose en la tecnología preferida para llevar datos de alta velocidad y voz digital en una sola conexión.

MPLS es un mecanismo de conmutación que asigna etiquetas (números) a los paquetes, y luego reenvía los paquetes basados en las etiquetas. Las etiquetas se asignan en el borde de la Red MPLS, y éstas generalmente corresponden a una ruta de acceso a las direcciones de destino de capa 3, algo similar al destino de encaminamiento IP [66].

A pesar de estar diseñado para cursar servicios diferenciados según el modelo DiffServ del IETF, esta técnica puede inclusive combinar los modelos IntServ y DiffServ en Redes heterogéneas [67]. Por lo que uno de los principales beneficios de los servicios basados en MPLS reside en su capacidad para aplicar QoS mediante la priorización del tráfico en tiempo real, una prestación clave cuando se quiere introducir voz y vídeo en Internet.

Su topología ofrece a los administradores la flexibilidad para desviar tráfico sobre la marcha en caso de fallas en los enlaces o congestión de Red. Además, la *Ingeniería de Tráfico (TE)* y la precisión e inteligencia del encaminamiento MPLS permiten empaquetar más datos en el ancho de

banda disponible y reducir los requisitos de procesamiento a nivel del encaminador [68, 69]. Por este motivo se prefiere usar MPLS en VoIP, dada su capacidad para dar prioridad a los datagramas de voz [70].

- *Multiprotocolo de Conmutación por Etiquetas Generalizado (GMPLS)*. Proporciona características de Redes orientadas a conexión, a Redes no orientadas a conexión. Es muy parecido a MPLS, sin embargo difiere en que soporta múltiples tipos de conmutación, extendiendo el concepto de MPLS a Redes TDM/SDH y Redes ópticas. Además, sirve para proveer los recursos de las Redes actuales de forma dinámica y proporcionar potentes técnicas de codificación [71].

Su principal ventaja es que gran parte de su funcionamiento se basa en tecnología que ya está en funcionamiento, con lo que implementarlo físicamente no tiene un costo elevado; razón por la que es muy empleado en la práctica.

4.2 TRADUCCIÓN DE DIRECCION DE RED

NAT consiste en traducir las direcciones IP (generalmente de privadas a públicas) y a veces debe modificar además las direcciones del *Protocolo de Control de Transmisión (TCP)* o UDP (puertos) cuando la conexión atraviesa

un encaminador o un firewall [72, 73], por lo que algunos autores se refieren a esta técnica como *Traducción de Dirección de Red y Puerto (NAPT)* [74].

En la figura 4.1 se muestra el funcionamiento de NAT. Las direcciones IP pertenecientes a una Red privada se traducen en una única dirección de salida a través del dispositivo NAT. En este caso esa dirección corresponde a la Red 206.245.160.0; sin embargo, esta Red puede abarcar un sin número de dispositivos, por lo cual es necesario especificar los puertos de origen y destino para conocer con exactitud el destino de un paquete transmitido. Para establecer un camino desde el cliente con dirección IP de origen 192.168.0.2 al servidor Web, se necesita conocer los puertos para encaminar los mensajes enviados.

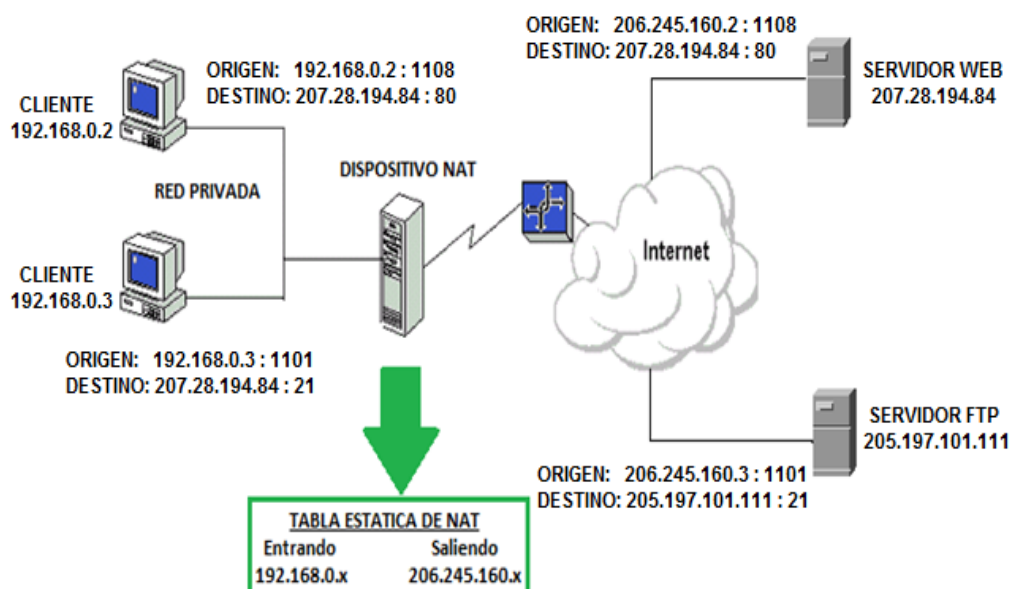


Figura 4.1 Esquema de Funcionamiento de NAT

Es claro que la cantidad de direcciones de Red que ofrece IPv4 son insuficientes para asignar una dirección a cada nodo que se conecta a Internet. NAT ha sido propuesto como una solución a corto plazo mientras se desarrolla e implementa IPv6 como una solución formal a este problema; pero la transición completa a IPv6 no se ha completado [75].

NAT además cumplen la función de ocultación, ya que no es posible establecer una conexión desde Internet a una máquina de la Red privada, por el simple hecho de que no existirían caminos en Internet para llegar a él.

Se plantea un problema para el tráfico de VoIP cuando atraviesa un dispositivo que emplee NAT. La mayoría de los protocolos de señalización de VoIP convencionales sólo tratan con la señalización de una conexión telefónica, mientras que el tráfico de audio es manejado por otro protocolo y el puerto en el que se envía este tráfico es aleatorio [76]. El encaminador NAT puede ser capaz de manejar el tráfico de señalización, pero no tiene manera de saber que el tráfico de audio está relacionado con esta señalización; como consecuencia, el tráfico de audio no se traduce entre los espacios de direcciones y no se envía correctamente al destinatario.

A continuación analizamos las soluciones aportadas por los distintos protocolos de señalización estudiados para soportar NAT:

- *H.323*. El estándar H.323 usa RTP para transportar medios de comunicación entre los EPs. Por lo tanto, el método más sencillo para sobrellevar el inconveniente que causa NAT es simplemente reenviar los puertos apropiados a través de su dispositivo NAT para el cliente interno. Y para recibir llamadas siempre se tendría que reenviar el puerto TCP 1720 al cliente. Además, se tendría que reenviar los puertos UDP para el flujo multimedia RTP y los puertos RTCP para el control de flujo.

Si se tiene un número de clientes detrás de un dispositivo NAT, otra manera de evitar problemas es utilizar un GK ejecutándose en modo proxy, el cual requiere de un interfaz conectado a la Subred privada y a Internet. El cliente H.323 en la Subred privada así como los clientes externos que deseen llamar, deben registrarse en el GK.

Finalmente, H.323 introdujo en sus últimas versiones una serie de extensiones para el estándar de videoconferencia, en las que incluyen protocolos de la familia de H.460.x, los cuales se ocupan del firewall y NAT.

- *SIP*. Tiene los mismos problemas que padece H.323. Probablemente el mayor obstáculo técnico de SIP es hacer transacciones a través de NAT. Debido a que SIP encapsula información de direccionamiento en sus

tramas (*frames*) de datos a nivel de aplicación y NAT trabaja a nivel de Red, la información de direccionamiento no se modifica automáticamente, y por lo tanto, los flujos de datos no tienen la información correcta de direccionamiento para completar la conexión. Además de esto, los firewalls normalmente integrados con NAT no consideran el flujo multimedia entrante a ser parte de la transacción SIP, lo que podría bloquear la conexión [77].

Se han planteado soluciones que incluyen emplear: infraestructura ASP para el correcto funcionamiento del sistema de Red sin que el usuario tenga que modificar la configuración de traducción de direcciones de su encaminador [78], firewalls recientes y *Controladores de Frontera de Sesión (SBC)*, que son dispositivos que solucionan la incompatibilidad de SIP con NAT [79]; pero esto todavía se considera un defecto en este protocolo, pues causa un sinnúmero de problemas para los profesionales de Redes que necesitan conectar los puntos terminales SIP utilizando la infraestructura de Red que actualmente poseen.

- *IAX*. Fue diseñado deliberadamente para trabajar en dispositivos que utilizan NAT. El uso de un único puerto UDP tanto para la señalización y la transmisión de medios de comunicación, provoca que este protocolo no presente problemas en topologías NAT. Estas consideraciones han

ayudado a convertirse a IAX en uno de los protocolos más fáciles para la implementación de Redes.

- *MGCP* y *MEGACO*. El hecho de que RTP utilice un rango de puerto dinámico hace que sea difícil para atravesar firewalls y NAT, ya que NAT cambia la dirección IP de origen y número de puerto RTP que ha sido negociado durante el SDP. Con el fin de superar este inconveniente se puede utilizar un servidor de *Sesión Transversal de Utilidades para NAT (STUN)* con el objetivo de poder descubrir el puerto real [80, 81].

Otros métodos utilizados en VoIP para trabajar en Redes que utilizan NAT y firewalls son:

- Que los dispositivos VoIP conozcan la dirección IP pública (o nombre DNS) de la NAT.
- Que la NAT deba ser configurada para no utilizar direccionamiento dinámico.
- Que la NAT deba ser configurada estáticamente para traducir las direcciones privadas a las direcciones públicas.

La desventaja de estos métodos es que requieren un administrador del sistema para configurar y administrar los dispositivos VoIP y realizar cambios a las direcciones públicas, lo que implica un gasto exagerado en recursos.

4.3 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Si a seguridad se refiere, la industria de VoIP se consolida en el mercado a través de la innovación y el alto nivel de seguridad y adaptabilidad; amenazando con eliminar a las soluciones tradicionales, las cuales son caras, sin garantías e inflexibles.

VoIP permite crear sistemas de bajo costo, y cuyas ventajas pueden ser definidas tanto por los proveedores que están motivados por los beneficios futuros que pueden surgir gracias a los costos más bajos en comparación con la tecnología clásica, así como por los usuarios que tienen la posibilidad de reducir o eliminar los costos del servicio de telefonía.

Sin embargo, implantar servicios de VoIP requiere como mínimo algunas consideraciones básicas de seguridad. Estas medidas de seguridad ayudan a evitar ataques externos y a que usuarios fraudulentos puedan acceder a la Red de un proveedor de servicios. Existen un sin número de mecanismos para establecer seguridad en una Red, por consiguiente se debe:

- Establecer una seguridad de acceso a la Red para prevenir y detectar un uso malicioso de los recursos de la Red VoIP. Estos mecanismos incluyen firewalls, listas de acceso, NAT, entre otros.
- Tener presente qué métodos son los ideales para la Red específica a la cual queremos proteger.
- Implantar protocolos seguros para establecerlos como mecanismos de seguridad.

A continuación se exponen las consideraciones de seguridad más relevantes empleadas en cada uno de los protocolos de señalización en estudio:

- *H.323*. Es relativamente seguro y no requiere de muchas consideraciones de seguridad más allá de las que comúnmente se necesitan en Internet.

Como este protocolo ha estado en el mercado por más tiempo que el resto, fue el adoptado por la gran mayoría de los proveedores de servicio portador; los cuales cuentan con mayor frecuencia con clientes corporativos derivados de instituciones financieras como bancos. En estos casos, se requieren las extensiones más comúnmente usadas por VoIP para soportar los métodos más potentes de cifrado.

H.323 utiliza la técnica de *Red Virtual Privada (VPN)* u otro túnel de cifrado entre los EPs debido a que este protocolo usa RTP, el cual no soporta flujos cifrados. La desventaja es que requiere el establecimiento de estos túneles seguros entre EPs, los cuales no podrían siempre ser convenientes (o incluso posibles).

Basado en esta necesidad que había que cubrir, el estándar H.235 soportado en H.323 introdujo mejoras, permitiendo incorporar servicios de seguridad como la autenticación y privacidad (cifrado de datos). Debido a que los canales RAS utilizados para la señalización de la GW al GK no son del todo canales seguros, y con el objetivo de asegurar las comunicaciones, se estableció que H.235 permitiera a las GWs incluir una clave de autenticación en sus mensajes RAS. El GK puede usar esta clave de autenticación (contraseña con *hashing*) para autenticar el origen de los mensajes. Algunos equipos VoIP soportaban características H.235 en respuesta a requisitos de los proveedores del servicio.

- *SIP*. Utiliza mecanismos de algunos otros protocolos de Internet para resolver problemas de seguridad. Debido a que los proxies a lo largo del camino de los mensajes necesitan acceder a algunos campos de éstos, entonces el cifrado de extremo a extremo no es aceptable para la confidencialidad e integridad de los mensajes SIP. Por lo tanto, SIP usa

cifrado salto por salto.

Además, se introdujo el SIP seguro para asegurar el transporte de los mensajes SIP, el cual representa un esquema de URIs que hacen necesario el uso del protocolo de *Seguridad en la Capa de Transporte (TLS)* en cada salto, con el fin de proporcionar confidencialidad, autenticación e integridad mediante el *Estándar de Cifrado Avanzado (AES)* y el algoritmo de cifrado *Triple DES (TDES)*.

Para resolver problemas de soporte para la autenticación y privacidad de los participantes en sesiones, los cuerpos de los mensajes pueden ser asegurados utilizando el protocolo de *Extensiones de Correo de Internet de Propósitos Múltiples / Seguro (S/MIME)* que facilita la autenticación, confidencialidad e integridad utilizando certificados digitales [82]. Los UAs pueden decidir usar túneles SIP cuando el mensaje entero es encapsulado en un cuerpo que es encriptado usando S/MIME.

Un ataque de *Denegación de Servicio (DoS)* puede ocurrir cuando se envía un gran número de solicitudes no válidas al servidor proxy en un intento de saturar el sistema. Estos ataques son relativamente fáciles de aplicar y sus efectos sobre los usuarios del sistema son inmediatos.

Para la prevención de ataques de DoS, que probablemente son el tipo más común de ataque en comunicaciones, SIP tiene varios métodos para mitigar al mínimo sus efectos, pero al final son imposibles de evitar. Se puede emplear el mecanismo de transporte cifrado TLS, que es usado para establecer comunicaciones entre la persona que llama y el dominio del que recibe la llamada [83]. Más allá de eso, la solicitud se envía de forma segura al dispositivo final en base a las políticas de seguridad locales de la Red.

Otro método que SIP utiliza es la función hash de una vía, que permite que un proxy que ha recibido una solicitud de invitación devuelva un mensaje de autorización a la petición, el cual contiene un grupo de caracteres aleatorios que son referidos como un valor secreto. Este valor secreto se utiliza junto con la contraseña para generar un hash del *Algoritmo de Síntesis del Mensaje 5 (MD5)*, que es luego enviado de vuelta en una posterior invitación y suponiendo que el hash MD5 coincide con el que generó el proxy, entonces el cliente sería autenticado.

- *MGCP*. Los mensajes MGCP viajan sobre UDP/IP por la misma Red de transporte con el *Protocolo de Seguridad de Internet (IPsec)*, que es un protocolo para proveer privacidad, integridad y autenticidad a la información que es transferida a través de las Redes IP [84]. Las sesiones

IPSec pueden ser utilizadas entre el MG y el CA para proteger la señalización, aunque su uso en VoIP presenta retraso, el cual es introducido por procesos computacionales y el tiempo requerido para establecer la seguridad.

Otro mecanismo de seguridad también empleado es el *Protocolo Seguro de Transporte en Tiempo Real (SRTP)*, considerado para Redes seguras de VoIP. Este protocolo sólo cifra los datos de los paquetes RTP pero no cifra sus cabeceras para no modificar su encaminamiento, a la vez que ofrece autenticación, confidencialidad e integridad [85].

- *MEGACO*. Claramente se necesita un mecanismo de seguridad para prevenir el acceso a entidades no autorizadas, el mecanismo de seguridad para el protocolo cuando éste transporta sobre Internet es IPSec. Protocolo que proporciona autenticación del origen de los datos, integridad y protección opcional para la reproducción de mensajes anteriores entre el MG y el MGC. Además, en caso de que el usuario lo desee puede proveer confidencialidad de los mensajes.

- *IAX*. Incluye la habilidad de autenticar de tres formas diferentes: texto plano, hashing MD5 e intercambio de claves *RSA* (*nombrado por las letras iniciales de los apellidos de sus autores: Rivest, Shamir y Adleman*);

estas dos últimas alternativas ofrecen mayor seguridad y sirven de protección contra la replicación de mensajes.

Este protocolo en un principio no se encargaba del cifrado del flujo multimedia entre los EPs. Por tanto, muchas soluciones para este contratiempo incluyen el uso de un dispositivo VPN o software para cifrar el flujo en otros niveles de la arquitectura de Red, los cuales requieren los EPs para preestablecer un método para tener estos túneles configurados y en funcionamiento. Sin embargo, IAX es ahora también capaz de cifrar el flujo multimedia entre EPs con intercambio de claves dinámicas en el establecimiento de la llamada (usando la opción de configuración de cifrado AES 128), permitiendo el uso de renovación automática de claves.

El ataque de *Intermediario (MitM)* es una amenaza a IAX si no se utiliza cifrado. Esta forma de ataque permite la inserción de mensajes, eliminación y modificación de tal manera que una llamada puede ser redirigida, o el audio o vídeo pueden ser reemplazados en una o ambas direcciones de la llamada. Si se utiliza cifrado la llamada está protegida de extremo a extremo, aunque esto es limitado para los ataques de DoS, por lo que comúnmente se emplea la técnica de la *Capa de Transporte de Datagramas de Seguridad (DTLS)* para mitigar las consecuencias causadas por este tipo de ataque [86].

4.4 PROTOCOLO DE INTERNET VERSIÓN 6

IPv6 o *Protocolo de Internet de Próxima Generación (IPng)* es la última versión de IP, la cual proporciona un sistema de identificación y ubicación de equipos de Redes y caminos de tráfico a través de Internet [87]. IPv6 fue desarrollado por el IETF [88], haciendo frente al problema de agotamiento de direcciones IP y reemplazando en forma gradual a la versión actual: IPv4 [89].

A todos los dispositivos en Internet se le debe asignar una dirección IP para comunicarse con otros dispositivos, y con el número cada vez mayor de los nuevos dispositivos conectados a Internet surgió la necesidad de más direcciones IPv4, las mismas que el 3 de Febrero de 2011 se agotaron en el registro central de la *Autoridad de Números Asignados de Internet (IANA)*, por lo que los proveedores de servicios de Internet están acelerando el despliegue de IPv6 [90]. IPv6 soluciona este inconveniente permitiendo aproximadamente $3,4 \times 10^{38}$ direcciones, mas de $7,9 \times 10^{28}$ veces que IPv4. Sin embargo, estos protocolos no están diseñados para ser interoperables, lo que complica la transición a IPv6 [91].

A medida que las tecnologías cambian se hace necesario el consumo de más ancho de banda en la Red, es por esto que al migrar los servicios a IPv6, además de lograr que exista un mayor número de direcciones IP para

lograr incrementar los usuarios de manera prácticamente indefinida, también se logra aprovechar el tráfico de la Red de una manera eficiente agregando algunos mecanismos que mejoran considerablemente la QoS en los servicios de VoIP [92].

El despliegue de IPv6 se encuentra en curso, es así como a finales de noviembre de 2012 se registró una cuota de tráfico IPv6 aproximada al 1%, la misma que al está incrementando. Por tanto, los proveedores de contenidos o servicios de aplicaciones a través de Internet tendrán que hacer arreglos para acceder a IPv6 lo antes posible o correrán el riesgo de perder un gran número de usuarios potenciales [93].

En algunas circunstancias las tecnologías destinadas a ayudar en la transición de IPv4 a IPv6 tienen efectos negativos sobre la QoE de los usuarios, por lo que una estrategia de despliegue de IPv6 debe evitar estos efectos tanto como sea posible [94].

El despliegue de IPv6 se iría realizando gradualmente en una coexistencia ordenada con IPv4, al cual iría desplazando a medida que dispositivos de clientes, equipos de Red, aplicaciones, contenidos y servicios se vayan adaptando a la nueva versión [95]. Esta transición afectaría a los servicios basados en VoIP, pues el problema se reduce al tiempo relativamente muy

largo en el que se pronostica que ambos protocolos tendrían que convivir. Por este motivo es que la integración de los sistemas de direccionamiento IPv4 e IPv6 que se han dado hasta el momento, han sido posible gracias al uso de GWs y protocolos o sistemas independientes [96].

Sin embargo, la necesidad y los beneficios que acarrearía el despliegue de este protocolo es razón suficiente para continuar con esta tendencia, llevando a cabo estrategias inteligentes y el uso de aplicaciones que permitan la interoperabilidad de IPv4 con IPv6 de manera adecuada mientras dura esta transición [97, 98].

Uno de los principales problemas al cual se daría solución gracias a la adaptación de los servicios de VoIP a IPv6 es a la integridad de extremo a extremo de la señalización de VoIP, con lo que se superaría las complicaciones existentes de firewalls debido a consideraciones de protocolo y también a los problemas de NAT [99].

Las Redes de *Voz sobre Protocolo de Internet versión 6 (VoIPv6)* darían un camino a seguir para solucionar problemas especialmente de escalabilidad, ofreciendo fiabilidad de grado comercial y de la misma manera adaptabilidad [100, 101].

Otra gran ventaja de IPv6 es que apoya a VoIP en la inclusión de direcciones IP únicas para usuarios, facilitando la denominada VoIP móvil; ya que considerando que las direcciones IPv6 son muchas, no habría necesidad de hacer frente a la asignación dinámica o privada de direcciones de Red, pues todos los dispositivos de Red estarían en capacidad de recibir una dirección única a nivel mundial, eliminando los problemas de conectividad de extremo a extremo [102].

Además, para quienes usen VoIPv6 se agregarían servicios de apoyo de seguridad y de QoS [103]. Tal como se ha establecido, la QoS es uno de los factores más preponderantes en los servicios de telecomunicaciones y precisamente el despliegue de Redes IPv6 juega un papel determinante en el mejoramiento de ésta [104].

Si bien es cierto en un principio la idea de Intserv empleando RSVP para la reserva recursos generó una gran expectativa, con el tiempo fue presentando problemas de escalabilidad y poca acogida en sus implementaciones debido al elevado costo de hardware; razones por las que se convertiría en un protocolo poco eficiente y hasta inútil. En los últimos años ha vuelto a aparecer en escena el RSVP por su aplicación en MPLS y en la TE, ya que en estos casos la cantidad de flujos multimedia es menos elevada y por tanto las implementaciones representan un menor costo [105].

En la cabecera de IPv6, se define un campo de 20 bits denominado *etiqueta de flujo* que permite asignar a cada datagrama una etiqueta para que los diferentes encaminadores de la Red puedan tratarlos adecuadamente, y es precisamente el RSVP el que usa esta etiqueta con el fin de ofrecer mayor QoS bajo Redes IPV6 [106].

Referente a los protocolos de señalización sobresale SIP. De hecho, los estudios realizados por Hoeher y otros (2006) afirman que la transición a IPv6 está bien cubierta y estructurada, pero que aspectos de aplicaciones específicas tienen que ser más considerados; por ende, SIP puede manejar de mejor manera esta transición con soluciones proxies en cuanto al enfoque de aplicaciones [107]. También hace énfasis sobre los aspectos teóricos y prácticos que se deberían considerar en la integración de SIP e IPv6 [108].

Basándose en este tipo de análisis las empresas ya empiezan a dar pasos en dirección a IPv6 dando soporte a este protocolo, inclusive existe una recomendación para enfrentar la transición hacia IPv6 con SIP, la misma que explica que una solución completa para la transición a IPv6 necesita manejar tanto la capa de señalización por medio de los servidores SIP y la capa de los medios de comunicación (RTP) [109].

4.5 REDES DE NUEVA GENERACIÓN

La NGN se define como aquella basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicaciones con QoS garantizada, con movilidad y que permite la convergencia de servicios y aplicaciones [110]. Este modelo de arquitectura de Redes permite desarrollar toda gama de servicios IP multimedia; por ende, la función de NGN se basa en generar una evolución para pasar de un sistema de telecomunicaciones a otro [111].

La introducción de NGN tiene un gran impacto en los sistemas de telecomunicaciones empleados en la actualidad, pues este nuevo planteamiento resuelve el principal punto débil para aplicar VoIP en las comunicaciones: la calidad y la garantía del servicio de extremo a extremo [112]. Otras de sus características se enlistan a continuación:

- Red multiservicio capaz de manejar voz, datos y vídeo.

- Movilidad generalizada.

- Servicios convergentes entre fijo/móvil.

- Red con el plano de control (señalización, control) separado del plano de transporte y conmutación/encaminamiento.

- Posee interfaces abiertas para el inter-funcionamiento entre los niveles de transporte, control y las aplicaciones.
- Garantiza QoS para distintos tipos de tráfico y de *Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA)*.
- Transferencia basada en datagramas IP para el transporte de todo tipo de información.
- Compatibilidad con una amplia gama de servicios, aplicaciones y mecanismos basados en módulos de servicios.
- Acceso sin restricciones por los usuarios a diferentes proveedores de servicios.
- Características del servicio unificado para el mismo servicio que percibe el usuario.
- Cumple con todos los requisitos reglamentarios relativos a las comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad...

La arquitectura general de NGN está basada en una topología jerárquica distribuida en cuatro niveles, con conectividad al nivel superior y dentro del mismo nivel. En la figura 4.2 se muestra como están dispuestos estos niveles.

Nivel de Acceso

Incluye las tecnologías para conectarse a los clientes finales. Se incluyen aquí las líneas de cobre, sistemas de cable, sistemas inalámbricos, anillos Metro Ethernet...

Nivel de Conectividad Primaria (Núcleo)

Esta capa se encarga de las tareas de conmutación, encaminamiento de los datagramas IP de extremo a extremo, además del transporte y control de la señalización. Este nivel se basa en IP utilizando ATM, MPLS y Ethernet. En el borde se usan GWs para la conexión con otras Redes a través de las *Pasarelas como Red Troncal (TGWs)* o bien con los equipos de clientes mediante las *Pasarelas de Acceso (AGW)*.

Nivel de Control

Nivel esencial en una NGN pues coordina todos los elementos en los otros niveles. Se encarga de asegurar el inter-funcionamiento de la Red de

transporte (Núcleo y Nivel de Acceso) con los servicios y aplicaciones mediante la interpretación, generación, distribución y traducción de la señalización correspondiente con los protocolos. Permite la provisión, supervisión, recuperación y análisis del desempeño para dirigir la Red.

Uno de los dispositivos más importantes en la NGN es el Softswitch, que es un dispositivo programable empleado en este nivel y que controla las llamadas VoIP [113]. El Softswitch permite la correcta integración de los diferentes protocolos dentro de la NGN, y además se encarga de la creación de la interfaz a la Red telefónica existente a través de GWs de señalización y MGs.

Nivel de Servicio

Los tipos de servicios deben abarcar los ya existentes y además una gama de servicios de datos y de multimedia en cualquier combinación posible. Estos deben ser independientes de la tecnología a utilizar y son colocados generalmente de forma centralizada a fin de lograr mayor eficiencia y además distribuirlos a la Red. Este nivel incluye el equipamiento necesario para proporcionar los servicios y aplicaciones a la Red.

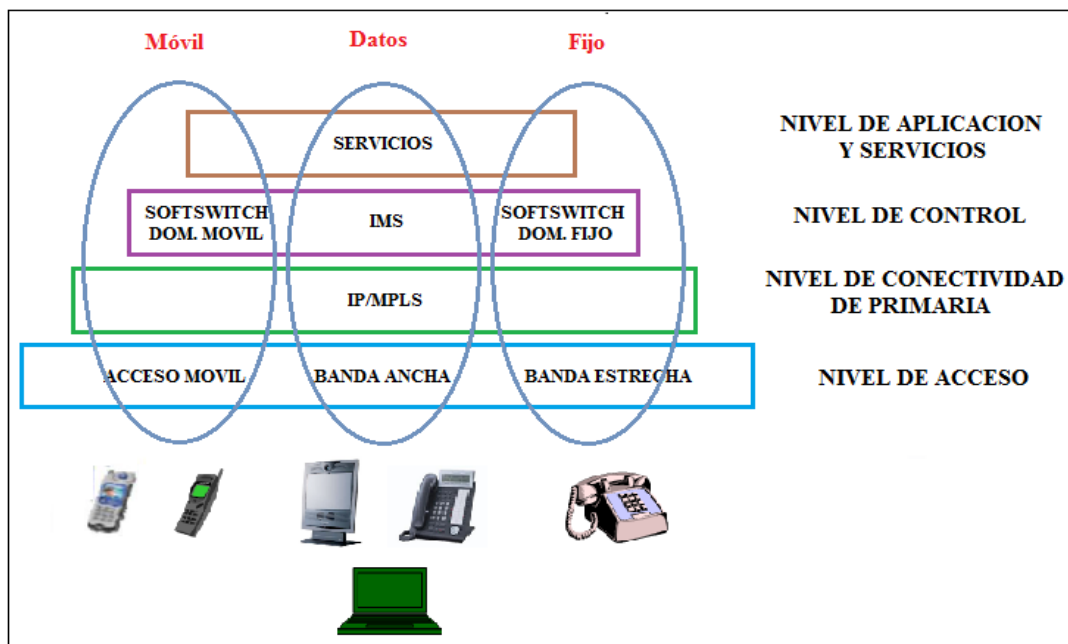


Figura 4.2 Arquitectura de una NGN

La existencia de muchas tecnologías y servicios que presentan dificultad para pasar de unas Redes a otras se soluciona con la implementación de la NGN, que con el apoyo del *Subsistema Multimedia de IP (IMS)* trata de unificar todos los servicios sobre la misma Red. La unificación como tal conlleva a Redes convergentes de servicios y de infraestructura.

IMS se refiere a una arquitectura funcional para la prestación de servicios multimedia basada en protocolos de Internet, cuyo objetivo es el combinar Internet y el mundo de la telefonía móvil. Este estándar se especifica en el *Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP)* [114].

IMS fue introducida en el UMTS versión 5 en marzo de 2003. Su primera versión se centró en facilitar el desarrollo y despliegue de nuevos servicios en Redes móviles. Esta norma fue más adelante extendida por un organismo de normalización del *Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI)*, el cual es conocido como *Telecomunicaciones e Internet convergente de Servicios y Protocolos para Redes Avanzadas (TISPAN)* y que estandariza el IMS como un subsistema de las NGNs [115].

IMS es una arquitectura concebida para ofrecer servicios multimedia. Este estándar posibilita a los operadores brindar servicios de valor agregado sobre una infraestructura IP existente, permitiendo la interoperabilidad de los servicios sin importar el tipo de Red de acceso (figura 4.3) [117, 118].

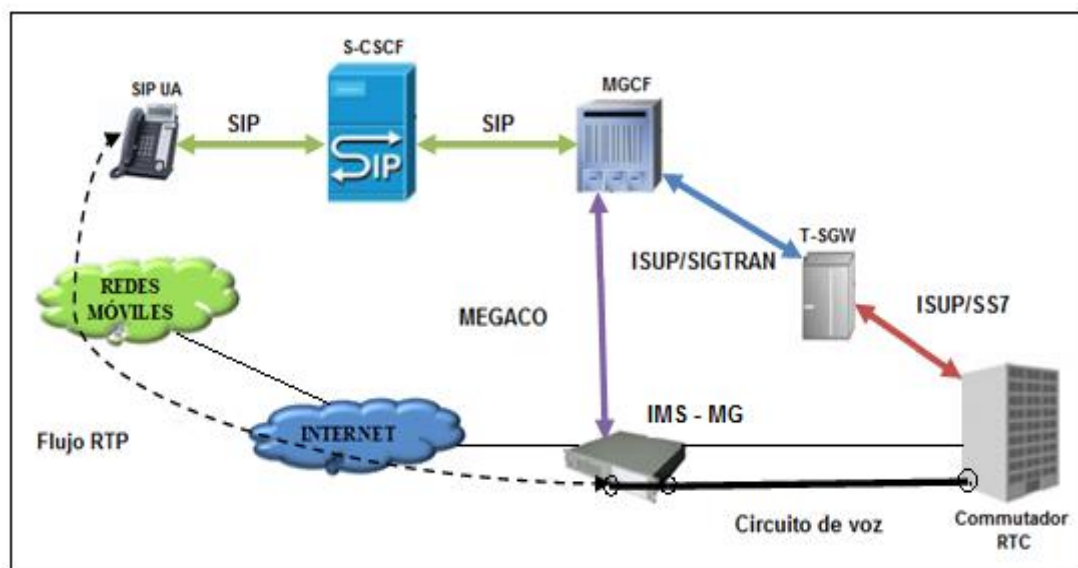


Figura 4.3 Funcionamiento IMS en NGN

Los protocolos de señalización empleados en la NGN son:

- *Diameter*. Es el estándar industrial para señalización de datos desde dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas. Está diseñado para realizar funciones distintas pero complementarias a SIP en Redes IMS / LTE [119]. La señalización Diameter es empleada para la autorización, autenticación, movilidad y la QoS; siendo esencial para la prestación de servicios y de Redes para operar eficientemente [120].
- *SIP*. Protocolo de señalización de IMS para el control de sesiones y el control de servicios; junto con Diameter son los encargados de conducir la mayor parte de las comunicaciones en Redes IMS. Todos los usuarios tienen que registrarse a la Red a través de este protocolo.
- *H.248*. Se utiliza para la señalización y administración de sesiones necesarias durante la comunicación entre un MG y un MGC; por lo que es empleado como un protocolo de señalización en la NGN, permitiendo establecer, mantener y terminar llamadas.
- *Señalización de Transporte o SIGTRAN (RFC 2719)*. Se refiere a una pila de protocolos para el transporte de protocolos de señalización de la SCN sobre Internet.

NOMBRE	SIGLAS	DEFINICION
Stream Control Transmission Protocol	SCTP	RFC 3309
Signalling Connection Control Part User Adaptation Layer	SUA	RFC 3868
ISDN Q.921-User Adaptation Layer	IUA	RFC 4233
SS7 Message Transfer Part 3 (MTP3) User Adaptation Layer	M3UA	RFC 4666
SS7 Message Transfer Part 2 (MTP2) User Adaptation Layer	M2UA	RFC 3331
MTP2 Peer-to-Peer User Adaptation Layer	M2PA	RFC 4165
V5.2-User Adaptation Layer	V5UA	RFC 3807
DPNSS/DASS2 User Adaptation	DUA	RFC 4129

Tabla 4.1 Protocolos SIGTRAN

SIGTRAN define los adaptadores y una capacidad de transporte básico donde se mezclan los protocolos SS7 y de conmutación de paquetes para ofrecer a los usuarios lo mejor de ambas tecnologías [121]. El protocolo más importante definido por el grupo SIGTRAN es el *Protocolo de Control de Transmisión de Flujo (SCTP)* [122], el mismo que es empleado para transportar señalización PSTN sobre Internet. Este grupo fue influenciado con la intención de utilizar los nuevos protocolos para la adaptación de VoIP a la PSTN. La familia de protocolos SIGTRAN incluye los protocolos que se muestran en la tabla 4.1.

Con NGN se despliega un amplio conjunto de capacidades avanzadas para el soporte de nuevos servicios y aplicaciones, los cuales serían producto de la convergencia de distintas Redes. Este auge incrementaría significativamente la adquisición de equipos terminales y en mayor volumen los teléfonos inteligentes y las tabletas.

Dado que el despliegue de las Redes celulares 3G y 4G (que se basan en IMS) sigue avanzando, como consecuencia un gran número de huéspedes celulares están siendo conectados a Internet. Y este continuo crecimiento en Internet requiere que su arquitectura general evolucione para adaptarse a las nuevas tecnologías y apoyar el creciente número de usuarios, aplicaciones, dispositivos y servicios [123]; por lo que se hace necesario la transición hacia Redes IPv6, las cuales brindarían apoyo al despliegue de VoIP móvil [124]. Pues si se considera que para cada terminal se va a necesitar una dirección IP, entonces el despliegue de Redes IPv6 contribuiría en gran medida en este ámbito; esto es debido no sólo a sus beneficios de seguridad y QoS, sino principalmente por la gran cantidad de direcciones IP que posee este estándar. Con el despliegue de IPv6 se podría asignar una dirección específica a cada terminal, dando a los usuarios la opción de estar en cualquier lugar del mundo sin tener que cambiar de IP [125].

La plataforma IMS fue diseñada para proveer conectividad IP a las Redes de telefonía móvil y otorgar a los usuarios una amplia gama de servicios multimedia; siendo explotadas todas sus bondades con el protocolo LTE, gracias a su gran velocidad de transferencia.

IMS se compone de diversos servidores que se comunican por intermedio de SIP, los cuales encaminan los diferentes requerimientos haciendo factible brindar al usuario servicios tales como: juegos multiusuario, transmisión de imágenes en tiempo real, videoconferencia, VoIP, mensajería instantánea, IPTV...

Pese a sus virtudes IMS todavía presenta problemas de compatibilidad en términos de configuración, seguridad y QoS; razón por la cual es requerida investigación continua para facilitar la transición hacia las Redes NGN. En este sentido se ha establecido el proyecto Open IMS Core desarrollado por el instituto FOKUS de Alemania, el cual representa un punto de partida de nuevas investigaciones para el testeo de la arquitectura IMS en NGN de 4G [126].

En consecuencia las Redes IPv6 mantienen un impacto directo en NGN en cuatro aspectos esenciales: capacidad de servicio mejorada, conectividad IP total, la auto-organización, y la detección de servicios mediante la

configuración automática y dispositivos conectados a más de una Red informática (*multihoming*) utilizando direccionamiento IPv6. Para afrontar estos escenarios se han establecido soluciones técnicas claves tales como: el marco para apoyar la señalización para NGN basada en IPv6 [127], marco de multihoming en NGN basada en IPv6 [128] y requisitos funcionales para la migración IPv6 en NGN [129].

4.6 FUTURO DE LOS PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN DE VOIP

En esta sección se intenta analizar el posible futuro de los protocolos de señalización, basándose en sus antecedentes previos y su estado actual en la industria de las telecomunicaciones. Para ello se exponen una serie de argumentos de otros autores que van de la mano con la evolución empresarial que ha experimentado la industria en este último tiempo.

- *H.323*. El futuro de este protocolo es un tema de debate. H.323 es a menudo considerado como técnicamente un estándar superior a todos los protocolos existentes; de hecho así lo es, pero como con tantos otros estándares, este tipo de argumentos es rara vez un factor decisivo en establecer el futuro de una norma.

Si bien es cierto que este estándar fue diseñado para ser utilizado sobre una *Red de Área Local (LAN)*, esta característica afecta su escalabilidad

para Redes grandes; esto acompañado de poca flexibilidad, lo que dificulta su adaptación a futuras tecnologías y su relativa efectividad con respecto al ahorro del ancho de banda, hace que este protocolo pierda aceptación entre los proveedores, pues no lo consideran asequible para inter-operar con infraestructura futura y por eso se ha dejado de realizar nuevas aplicaciones que soporten este estándar.

Una dificultad de proyección futura es que será difícil de encontrar EPs basados en H.323, pues conscientes de la ventaja competitiva que supone SIP, la mayoría de los principales proveedores de equipos de VoIP basados en H.323 están desarrollando equipos que sean compatibles también con SIP. Por lo que gran parte de los operadores de VoIP a nivel internacional que soportaban H.323, soportan también SIP e incluso hay unos cuantos que sólo soportan SIP frente a los pocos que siguen ofreciendo compatibilidad sólo con H.323 [130].

- *SIP*. A nivel de aplicación SIP está tomando el relevo a H.323, pues está siendo ampliamente adoptado. Todos los nuevos usuarios y productos comerciales se espera puedan soportar este protocolo, y cualquier producto existente en un futuro cercano será difícil de vender a menos que se ofrezca su migración a SIP.

Es así como con la proliferación de soluciones SIP, se establece el servicio de SIP como Red troncal (*SIP trunking*), que trae consigo beneficios de mayor flexibilidad, reducción de costos, rapidez y menor consumo de recursos en las conexiones que se ejecuten [131]; representando la nueva ruta a los servicios de VoIP [132]. SIP trunking está ampliamente disponible por las compañías; sin embargo, el correcto funcionamiento de este servicio depende del software y de equipos específicos de hardware de los proveedores, pues en la práctica siempre ocurren problemas inesperados con las líneas troncales SIP.

En la actualidad existen proveedores de servicios que están desarrollando productos basados en protocolos abiertos como SIP, empleando especificaciones individuales al estándar, lo que conduce a menudo a problemas de interoperabilidad. Algunas empresas lanzan sus productos al Mercado como terminales SIP, compatibles únicamente con la centralita de turno; y es que el 90% de los servicios asociados al terminal únicamente son válidos si el servidor al que se conectan es de la misma marca [133].

Otros problemas que acarrea SIP trunking se enfocan en: la interoperabilidad SIP entre la PBX IP y el proveedor de servicio, QoS, seguridad e inconvenientes para conectar usuarios remotos a una

infraestructura de VoIP corporativa. A pesar de todo, en la actualidad están surgiendo productos con los que se podría solucionar estos problemas, como aquellos que ha lanzado al Mercado la compañía Dialogic [134].

Hasta la fecha existen múltiples protocolos de señalización, pero parece que de a poco SIP está ganando la batalla del estándar, pues su impacto se ve reflejado en grandes compañías como: Cisco que está migrando todos sus equipos (*Call Managers* y Teléfonos IP) [135], Panasonic que se ha apuntado a la fabricación de terminales basados en el protocolo SIP [136], Avaya que apuesta por SIP como estándar de comunicaciones por Internet [137], Polycom que ha ido adoptando SIP y está apuntando a soportar soluciones corporativas entorno a este protocolo [138], Digium que han lanzado su propia gama de teléfonos SIP [139]; así mismo, operadores (móvil y fijo) están progresivamente adoptando SIP, pues los más nuevos productos son compatibles con este estándar [140].

Y es que marcas muy reconocidas y respetadas del todo el mundo de centralitas telefónicas tradicionales (*analógicas, digitales...*) como: Siemens, Fujitsu, Philips, Alcatel, 3Com..., se ven obligadas a reinventarse o desaparecer. Las empresas empiezan a desarrollar nuevas soluciones VoIP basadas en protocolos abiertos como SIP, buscando

como sea avanzar en esta industria y no perder la penetración de Mercado que habían conseguido en el pasado [133].

En esta tendencia no se quedan atrás los productos software de código abierto, pues precisamente con la gran incidencia que ha causado SIP actualmente existen multitud de aplicaciones de código abierto que operan como servidores SIP y pueden ser fundamentales dentro del paradigma de la VoIP [141]. Aplicaciones como por ejemplo: OpenSIPS, Sylkserver, OverSIP, Asterisk y Kamailio, que es una de las más empleadas en la actualidad y cuya última versión 4.0.0 fue publicada en marzo del 2013. Esta versión incluye disponibilidad de muchas extensiones IMS para hacer de Kamailio una de las plataformas de presencia de código abierto más evolucionado en el entorno VoIP [142, 143].

Un estudio relacionado con este tópico es el de Voznak y otros (2011), en cuya investigación se desarrolla una herramienta que es capaz de generar la compleja sintaxis Kamailio [144]. Kamailio es muy potente y flexible con los servidores SIP, pero su configuración es difícil de entender y la herramienta que es propuesta en el trabajo ofrece la opción de simplificar significativamente el proceso de creación del fichero de configuración. Su característica importante es el hecho de que la

herramienta es independiente de módulos utilizados por bloques en plantilla global y se seleccionan sólo si se utiliza una determinada opción en particular.

Con respecto a las Redes Móviles y teniendo en cuenta el gran número de futuros operadores habilitados para el IMS y sus servicios bien estandarizados, se están investigando escenarios de migración que motivarían a los operadores a preferir a SIP [145].

Basados en estos argumentos se puede establecer que aunque haya disponibles varios protocolos de señalización de VoIP [6, 7], SIP es el mejor de los candidatos. Esto se debe a su mayor potencial para adaptarse a nuevos protocolos (IPv6, IMS, LTE...), brindando el desarrollo de nuevos y mejores servicios y aplicaciones multimedia convergentes sobre internet, lo que a su vez ha impulsado a que los proveedores opten por SIP como el futuro inmediato en la VoIP.

- *MGCP*. Fue rápidamente perdiendo espacio frente a SIP e IAX, y de a poco MEGACO fue quitándole terreno en soluciones con troncales o grandes cantidades de abonados POTS. Es por este motivo que la especificación MGCP no se desarrolla más y toda modificación sobre este tipo de arquitectura se realiza sobre la especificación de MEGACO/H.248.

Por consiguiente es más factible encontrar aplicaciones que soporten MEGACO en lugar de MGCP, ya que estos estándares no son compatibles, únicamente en infraestructura más antigua es posible encontrar aplicaciones que aún soportan el estándar MGCP.

- *MEGACO*. Si bien es cierto cumple a calidad su cometido, y puede realizar el control de la Red y la provisión de algunos servicios bastantes básicos; en el momento en que se pretenda ofrecer servicios más avanzados se requiere el empleo de un protocolo con un mayor número de funcionalidades para este propósito, como SIP.

Por otro lado, dada la variedad de GWs existentes se plantea la necesidad de establecer protocolos estandarizados que permitan la comunicación entre estos componentes. Y es precisamente por este motivo que H.248 resalta como un protocolo muy útil; éste especifica los procedimientos que se deben seguir para llevar a cabo la comunicación entre GWs físicos y sus controladores. MEGAGO representa un protocolo con futuro, pues juega un papel importante en la migración a las nuevas versiones de Redes gracias a sus características que permiten establecer una comunicación entre GWs, razón por la cual ha sido adoptado como un protocolo de señalización para NGN.

- *IAX*. Desde siempre *IAX* fue optimizado para la voz, y a pesar de haber recibido algunas críticas por no realizar mejor soporte de vídeo, en realidad *IAX* tiene el potencial de transportar a casi cualquier flujo multimedia. Posee características idóneas para las comunicaciones, lo cual se soporta en estudios como el de Abbasi y otros (2005) en donde se demuestra que *IAX* es el protocolo más eficiente en cuanto al ahorro de ancho de banda, por lo que inclusive presenta cierta ventaja en cuanto a la calidad de voz en relación a SIP [6].

Una de las virtudes de este estándar como la de no presentar inconvenientes con NAT, se constituye en su principal deficiencia debido a que al utilizar un único puerto muy conocido, lo hace un blanco fácil para los ataques de DoS.

A pesar de este inconveniente, en la actualidad cumple con las expectativas planteadas como protocolo para VoIP y lo seguirá haciendo por los próximos años; pues de surgir en un futuro nuevos requerimientos, este protocolo es lo suficientemente flexible y escalable como para poder adaptar nuevos recursos, sobrellevando estas nuevas necesidades.

El punto determinante por el que se considera que *IAX* tiene futuro en la industria de las telecomunicaciones es por el hecho de presentar un nicho

de mercado muy interesante, el cual crece conforme se incrementa el desarrollo de software libre [147]; siendo este protocolo apoyado por muchos proveedores de hardware por su utilidad en ciertas aplicaciones, especialmente en transmisiones simultáneas en un mismo flujo de datos (IAX trunking) [148].

En la tabla 4.2, se expone la proyección que presentan los protocolos estudiados en cuanto a su adaptabilidad al futuro.

CARACTERISTICAS	PROTOCOLOS DE VOIP				
	H.323	SIP	MGCP	MEGACO	IAX
Protocolo sometido a reformas	√	√	X	√	√
Soporta IPv6	X	√	X	√	X
Protocolo empleado en NGN	X	√	X	√	X
Aceptación por los fabricantes	√	√	X	√	√
Aceptación por desarrolladores de aplicaciones de código abierto	X	√	X	X	√
Permite nuevas incorporaciones para soportar servicios y aplicaciones adicionales	X	√	X	√	√
Compatibilidad con otros protocolos	X	√	X	√	√
Soporta servicios móviles	X	√	X	X	X

Tabla 4.2 Proyección de los Protocolos de Señalización de VoIP

CAPÍTULO 5

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de la investigación desarrollada con los cuales se realizará un análisis minucioso para finalmente establecer las respectivas conclusiones. Por consiguiente, se han considerado una serie de argumentos basados en estudios recientes, análisis de la evolución empresarial en los últimos años y proyección de la misma en el futuro, así como referencias de estudios científicos - técnicos revisados.

5.1 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En esta sesión se muestran los resultados obtenidos a partir del análisis realizado a los protocolos de señalización que han sido objeto de estudio en este trabajo.

Como se puede observar en el apéndice A se establecen las características generales de estos protocolos, poniendo en manifiesto la entidad que ha definido a cada uno de éstos, así como su versión actual. Además, se indica el tipo de arquitectura y clientes que emplean cada uno de ellos, sus elementos y protocolos subyacentes utilizados para el transporte, descripción de sesión y seguridad.

5.2 ANÁLISIS DEL FUTURO DE LA VOIP EN EL AMBITO COMERCIAL

Las Telecomunicaciones han sido consideradas como un área que podría ser crucial para el éxito de los negocios alrededor del Mundo en los próximos 10 años [149], sobre todo por los llamativos beneficios que trae consigo el despliegue de las *Comunicaciones Unificadas (UC)* [150], en particular la VoIP [151].

VoIP es una tecnología que ha impactado en muchas industrias y entre compañías de todos los tamaños en años recientes, y particularmente su efectividad se optimizaría en pequeñas y medianas empresas según el

criterio de Tom Dobson, ya que implicaría una reducción significativa del costo de la plataforma de telecomunicaciones, incremento del potencial para trabajar desde varias localidades y mayor eficiencia [152].

VoIP es cada vez más utilizado a medida que se vislumbra el potencial de los beneficios que brinda el servicio. En este aspecto muchas empresas en el Mundo, principalmente en Europa han comenzado a incursionar con la idea de trabajo flexible, permitiendo que los empleados de una compañía puedan laborar desde localidades diferentes y horarios pocos habituales a los que se manejan en la oficina; y es donde las soluciones de VoIP tienen un valor incalculable, pues permitirían estar en continuo contacto a empleadores con sus empleados, quienes a su vez están trabajando desde sus casas. VoIP provee un enlace barato y sencillo entre la oficina y quienes realizan sus tareas desde localidades remotas durante cualquier hora del día.

Según Stephen Menko, director de la firma Ortus, el trabajo flexible sostenido con ayuda de la implementación de soluciones de VoIP podría implicar un incremento en la productividad, a la vez que les permitiría a las compañías fidelizar a sus empleados y mantener a sus talentos individuales más destacados dentro de la misma [153]; así mismo se plantea que con este modelo de gestión es probable que los empleados mayores puedan mantener sus trabajos por mayor tiempo [154].

De VoIP se derivan múltiples aplicaciones que traen consigo beneficios de toda índole en varios campos e inclusive puede aportar a preparar a las empresas para el futuro, empleando modelos de negocios más modernos de modo que puede ser desplegado dentro de las compañías para garantizar facilidad, velocidad, eficiencia y enlaces de telecomunicaciones baratos [155]; por lo que con esto en mente, las empresas que deseen beneficiarse de la VoIP deberían invertir en esta tecnología tan pronto como sea posible [156].

Y es que VoIP es considerada como la tecnología del futuro por ser una de las tecnologías con mayor crecimiento en el mercado [157], pues no sólo se emplea en el ámbito laboral, sino que trasciende hasta entidades educativas y usuarios particulares [158, 159]. Por esto, muchos serían propensos a cambiar su enfoque hacia la VoIP, en gran parte debido a las numerosas ventajas que posee en ahorro de dinero, productividad, extensiones escalables, envío de fax sobre IP, facilidad en administración, velocidad, calidad, fiabilidad, eficiencia y sobre los sistemas móviles [160, 161].

Analistas de tendencias de Mercado están de acuerdo de forma casi unánime que el futuro de la tecnología VoIP va de la mano con el de las tecnologías móviles, ayudándose mutuamente en su crecimiento [162, 163];

esto gracias a que las aplicaciones de VoIP se abren camino en la industria de teléfonos inteligentes, como el Smartphone, el iPod Touch y el iPad.

Estudios aseguran que para el 2017 uno de cada siete suscriptores móviles utilizaría servicios VoIP, lo que según la consultora Juniper Research supone unos 1000 millones de usuarios en todo el mundo. Si bien es cierto que en la actualidad los servicios VoIP son cada vez más sofisticados, sería la llegada de 4G lo que daría un nuevo impulso a la VoIP móvil [164].

Pocas tecnologías logran la penetración de Mercado que la VoIP está teniendo y que podría alcanzar cuando su máximo potencial sea explotado. Según un informe de investigación de Mercado de la firma In-Stat se estima que el número de usuarios de teléfonos VoIP llegará a 288 millones a finales del 2013; mientras que Juniper Research ha ido más allá, al sugerir que los usuarios de VoIP móvil llegarían a ser aproximadamente 1000 millones en el 2017 [165].

El futuro de cualquier tecnología en apogeo resulta difícil de predecir, pues las personas no siguen a la tecnología, sino más bien la tecnología sigue las necesidades de las personas. Sin embargo, a partir de los informes que ofrecen las revistas de tendencias, encuestadoras y analistas de mercados, se establece que la VoIP mantendrá su crecimiento tanto en demanda como

en ingresos, con lo que se prevé se convierta en la industria más rentable en la próxima década, pues no muestra signos de desaceleración. VoIP no es simplemente una tendencia, es una solución económica que se ha convertido en una realidad y está aquí para quedarse. Los inversores incluso recomiendan invertir en este valioso sector, ya que creen firmemente que está a punto de revolucionar la industria de las telecomunicaciones y las tecnologías [166]. Y está claro que esta tecnología presenta un vasto horizonte con un impacto acrecentado a nivel mundial, lo que hace presumir su futuro garantizado; hipótesis basada en algunos criterios que predicen que con el tiempo la VoIP superará la línea fija para convertirse en el principal medio de comunicación de voz [167].

En efecto la popularidad de VoIP parece continuar en una trayectoria ascendente; estudios de mercado recientes realizado por Infonetics Research sugieren que el número de suscriptores de servicios de UC (incluyendo VoIP) está en alza. Inclusive se establece que a nivel mundial la VoIP se ha expandido nueve por ciento más en el año 2012, en comparación con el 2011 [168].

En el 2013 las pequeñas y medianas empresas están apostando a los sistemas de UC para ser más eficientes en sus procesos de negocio, según un estudio realizado por Avaya [169]. Tal es su impacto que se ha

establecido a las UCs como un camino sin retorno hacia el ahorro de costos, mayor productividad y eficiencia [170].

Diane Myers, analista principal de VoIP, IMS y el grupo de investigación de UC, expone que el Mercado de los servicios de VoIP se ha movido más allá de los países considerados como grandes potencias, pues nuevas regiones geográficas se están abriendo a adoptar esta tecnología [168]. De hecho, un órgano de expertos de la ITU ha llevado a cabo investigaciones sobre el tema y concluyó que nada detendrá la creciente demanda de la VoIP, catalogando la evolución hacia esta tecnología como irreversible [171].

5.3 ANÁLISIS DEL FUTURO DE LA VOIP EN EL MARCO REGULATORIO

Pese a los numerosos beneficios que aporta VoIP, ha sido muy resistida porque pone en tela de juicio los modelos tradicionales de las empresas de telecomunicaciones al plantear crecientes desafíos a los operadores existentes. Además, al presentar riesgos los ingresos lucrativos correspondientes a las llamadas internacionales y de larga distancia que manejan los operadores, muchos se han negado a prestar estos tipos de servicios, incluso han incitado a los agentes reguladores a tratar de prohibir o limitar la prestación de servicios VoIP [172].

En muchos sentidos, esto ha contribuido a prestar especial atención al frágil equilibrio que los reguladores han estado llevando por años, pues por un lado, están los compromisos de la *Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI)* que plantea fomentar el acceso de bajo costo a los servicios de las *Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)*; por otro lado, se asoma el deseo de proteger a los operadores tradicionales, sobre todo cuando son propiedad del gobierno.

No es de extrañar, por tanto, que al estar la VoIP ganando cuota en el Mercado, haya impulsado una serie de respuestas regulatorias; de prohibición total, legalización en algunos casos o de total falta de interés en otros como en el caso de Ecuador, que carece de una regulación específica para la práctica de VoIP y por ende en muchas situaciones es catalogada como ilegal [173]. O como en los Estados Unidos, en donde la ley se presenta ambigua en este tema y la incertidumbre regulatoria lleva a las empresas a no invertir en tecnología de VoIP, debido a que el cumplimiento de las normas no está claro, y su beneficio potencial se reduce ante el riesgo de los costos inesperados por incumplimiento de la ley [174].

Sin embargo, la reglamentación de la VoIP está cambiando a un ritmo tan rápido que actualmente se ha legalizado su comercialización en muchos países, y en otros tantos está por legalizarse como en el caso de la India, en

donde informes han revelado que se espera un incremento del 27 % en los próximos cinco años en términos del número de personas y empresas suscritas a los servicios de VoIP. Este auge de VoIP en la India ha sido posible gracias a que en mayo de 2012 el Gobierno permite su utilización, esperando provocar una revolución a largo plazo en la industria de este país [175].

Pero la cuestión de si se debe permitir o prohibir VoIP no es el único problema que deberán enfrentar los organismos reguladores. Otros temas incluyen los marcos regulatorios para la interconexión de las PSNs y las SCNs, así como una serie de cuestiones que se derivan del hecho de que los clientes de VoIP pueden utilizar el servicio de VoIP móvil; acarreando problemas con los operadores móviles, debido a que estas empresas podrían llegar a tener una reducción significativa en la cantidad de uso de los planes de la mayoría de sus habituales consumidores [176, 177]. Además, por su naturaleza móvil provocaría problemas en las prácticas tradicionales en lo relativo a la numeración y a los servicios de emergencia [178].

Uno de los interesantes efectos secundarios de la VoIP es que la tecnología ha obligado a que todos los proveedores de servicios establecidos en todo el Mundo examinen su propio negocio. Todos ellos han llegado a una

realización: VoIP reemplazará a la PSTN y es una seria amenaza para su modelo de negocio actual.

Por tanto, en un esfuerzo por recuperar el control de la explosión de los nuevos proveedores de servicios y la competencia que erosionan sus ingresos, los proveedores de servicios tradicionales han puesto en marcha una nueva iniciativa (NGN).

La transición hacia la NGN es un punto abierto a debate, pues muchos observadores prevén que la NGN e Internet coexistan durante cierto tiempo. Con esta idea, los fabricantes pueden proveer flexibilidad a la VoIP y las compañías pueden enfocarse en construir Redes escalables y elásticas que soporten los requisitos de la NGN.

Y es que la NGN presenta un futuro prometedor debido a sus capacidades de prestar una amplia gama de servicios y aplicaciones accesibles desde diferentes tipos de dispositivos capaces a su vez de funcionar desde cualquier lugar. El entorno de la NGN plantea importantes retos a todos los actores del Mercado que están elaborando nuevos modelos comerciales, así como a los Gobiernos y organismos reguladores resueltos a crear marcos regulatorios capaces de afrontar el futuro.

Si bien es demasiado pronto para determinar la reglamentación conveniente a aplicar en un entorno de NGN, no cabe duda de que el proceso de transición ya ha comenzado y promete transformar completamente el panorama de las TIC. Por ende, es recomendable aprender de los países que han avanzado en el camino del desarrollo tecnológico y el análisis normativo. Y siempre que sea necesario, se debería poder justificar el abandono de los principios ya establecidos y adaptarlos con miras a promover la competencia, la inversión segura y el bienestar del consumidor.

La Industria de las telecomunicaciones ha crecido a gran escala en base a las necesidades y requisitos tanto de los proveedores como de los usuarios. Y es así, como este sector ha evolucionado producto de innovaciones como VoIP, servicio móvil avanzado (3G, 4G), *Convergencia Fija - Móvil (CFM)* y Redes de banda ancha; que en conjunto conforman la evolución de Redes avanzadas basadas en IP, que es un concepto que toma fuerza y que la mayoría de expertos convendría en afirmar que la transición hacia todas las Redes basadas en IP es imparable [179]. Esta tendencia a sustituir las SCNs por PSNs se vería incrementada en los próximos años con el avance de las Redes móviles UMTS hacia la tecnología "All IP" [180].

Sin embargo, esta transición a la interconexión en un Mundo totalmente basado en IP plantea un importante esfuerzo por parte de los órganos de

regulación, los cuales no están avanzando al paso que la tecnología evoluciona. En este sentido, empresas como AT&T han explicado que los esfuerzos actuales para regular el servicio de VoIP en los Estados Unidos han retrasado la transición hacia una Red “All IP” en el futuro, frenando las inversiones en las tecnologías IP [174].

Y es que por el momento parece lejano este modo de interconexión IP, pues de plasmarse este ideal, el concepto de NGN quedaría sin vigencia. Y sin duda esto implicaría un golpe duro hacia los operadores tradicionales, pues fueron ellos quienes adoptaron esta iniciativa como modelo emergente al verse perjudicado con la revolución de VoIP. Por tal razón, esto se convierte en una tarea difícil que deberán ejercer los entes reguladores al reformular sus ideales, establecer consensos y acordar nuevas reglamentaciones antes de efectuar una posible transición hacia una Red “All IP”.

5.4 ANÁLISIS DEL FUTURO DE LA VOIP DESDE UN ENFOQUE CIENTÍFICO – TÉCNICO

El nacimiento de la VoIP en los años 1990 ha significado una de las ideas más revolucionarias en lo que se refiere a la industria de las TIC, pues ha contribuido a grandes avances desde aquella época hasta la actualidad y a nuevas ideas que hace algún tiempo parecían utópicas, pero que de a poco se han ido plasmando gracias a los esfuerzos dedicados de quienes siguen

estableciendo nuevos aportes en la comunidad científica con el objetivo de satisfacer las necesidades de mejoramiento tecnológico que demanda la nueva Era de las comunicaciones.

En este sentido, todos quienes están involucrados e inmersos de manera directa o indirecta en el Mundo de las TIC desean tener un cierto enfoque de las tendencias que se vivirán en los próximos años. Tendencias en las que se involucran el conocimiento del potencial verdadero que trae consigo la idea de VoIP, el despliegue de un sin número de servicios y aplicaciones, así como la convergencia de tecnologías en las que se están trabajando y otras que se están proyectando para el futuro. Por consiguiente se exponen los principales tópicos de estudios de años recientes, sus avances, desafíos e influencia en el futuro.

Seguridad

De manera general se siguen realizando estudios para lograr avances en cuanto a temas de seguridad, pues sin lugar a dudas uno de los factores que más influencia presenta en la VoIP es la seguridad, dado que impacta directamente en la QoS según el estudio publicado por Radmand y otros (2011), en donde indica que los algoritmos de cifrado AES presentan la mejor seguridad, y por lo tanto, en situaciones donde la seguridad es el objetivo más importante, AES-256 es el algoritmo más eficaz [181].

Kumar y otros (2013) establecen en su trabajo un análisis de los protocolos de seguridad en contexto y no de manera aislada, analizando cuatro protocolos de gestión de claves empleados en ambientes SIP, tales como: el de *Descripciones de Seguridad para el Protocolo de Descripción de Sesión (SDES)*, la extensión del *Protocolo de Transporte en Tiempo Real (ZRTP)*, DTLS-SRTP y el de *Más SDES (MSDES)*. Ellos concluyen que SDES es el protocolo de intercambio de claves más ampliamente utilizado, MSDES con respecto al problema de fugas de claves es el protocolo de manipulación de medios más seguro, y al crear menos costo de cabeceras tiene por lo tanto un rendimiento más rápido que ZRTP y DTLS-SRTP. Finalmente establecen que para la solución de seguridad de SIP no se puede proporcionar una protección completa contra los ataques, pues incluso MSDES no es 100% seguro para ataques de MitM [182].

Otros estudios como el de Rakotondraina y otros (2013) contribuyen a la constante investigación de la seguridad de VoIP. Ellos proponen un esquema de paquetes cifrado, que piensan podría convertirse en un futuro cercano en un estándar universal de Redes de voz y vídeo, con el cual, según los resultados presentados se pueden asegurar correctamente los datos [183].

Transición a IPv6

Un tema en el que se ha venido trabajando desde algún tiempo está basado en el efecto que tendrá el despliegue de Redes IPv6, ya que considerando el agotamiento mundial de las direcciones IPv4 se obliga a una transición a IPv6, y debido a que existen diferencias significativas entre estos dos protocolos, nuevos procedimientos de protocolo son necesarios para permitir la implementación y despliegue de servicios a través de Redes IPv6 [184].

Por lo que es necesario que los órganos de regulación trabajen en la actualización de ciertas recomendaciones existentes con la finalidad de tomar ventaja de la inminente llegada de IPv6 y de identificar los servicios para los que se necesitan nuevos procedimientos de protocolo para esta transición, tales como el comercio electrónico y videoconferencia. Servicios que son sensibles al desempeño de la Red, por lo que en algunos casos no pueden proporcionar QoS de manera adecuada, y que justamente con el desarrollo de IPv6 se podrían resolver problemas de esta índole [185].

Es necesario mencionar que la diferencia entre la QoS de las Redes IPv4 y las Redes IPv6 se centra en el proceso de clasificación del tráfico en el que los paquetes o flujos son diferenciados a través de varios parámetros, lo que contribuye a que IPv6 proporcione mayor facilidad de implementar QoS.

Y es que precisamente la importancia de la provisión de QoS garantizada por parte de las Redes de comunicaciones ha producido la necesidad de que este tema se convierta actualmente en uno de los principales campos de investigación; con este ideal se comienzan a establecer propuesta de integración de IPv6 con otras tecnologías como ATM, pues se asegura que esta integración permitiría garantizar QoS en una Red, de manera que se aprovecha el control sobre los parámetros de QoS que proporciona ATM, como la conectividad y gran expansión [186].

Desde este punto de vista ya existen trabajos que van más allá, como el de Salcedo y otros (2011), en el cual exponen el estado actual de las Redes de voz y su funcionamiento sobre las Redes IPv6, así como las diferentes arquitecturas en las que se pueden implementar. En este trabajo además se sostiene que el protocolo de señalización más óptimo para la VoIP es SIP, pues éste al tener ya definidos las características para la transición a IPv6, permite la interoperabilidad entre Redes IPv4 e IPv6 [187].

Gracias a esto las implementaciones VoIP crecerían considerablemente; sin embargo, no en todos los escenarios se tienen en cuenta los mecanismos de seguridad adecuados. En este último punto es muy importante considerar que en el despliegue hacia IPV6 aparecerán nuevas amenazas a la seguridad que tratarían de opacar el gran auge de la tecnología VoIP según

el criterio de Benites y otros (2011); quienes colocan a SIP como el actor principal de la tecnología VoIP, exponiendo que requiere de la implementación de mecanismos de seguridad. Por lo que en su trabajo de investigación presentan un modelo de seguridad aplicado a un escenario experimental VoIPv6 que utiliza la seguridad salto a salto y extremo a extremo empleando los protocolos TLS y SRTP [188].

NGN e IMS

En años recientes se ha establecido el reto del despliegue de NGN; iniciativa que se está forjando poco a poco, gracias a los aportes que realizan los investigadores, desarrolladores y órganos reguladores.

En esta línea, el *Grupo de Estudio 13 (SG13)* de la ITU encargado de la investigación de las NGNs ha desarrollado estándares mundiales acerca de las distintas Redes, incluidas la basada en IP y NGN. Y así como con todas las normas de la ITU se toma en consideración el desarrollo de nuevas recomendaciones basadas en la reducción del consumo de energía en esta área, dado que es un factor clave, pues se cree que las NGNs podrían ofrecer ahorros significativos a través de Redes tradicionales [189]. De igual manera se han establecido recomendaciones concernientes a escenarios de migración de Redes tradicionales a las NGNs en los países en desarrollo, brindando un punto de partida para ayudar a reducir la brecha tecnológica que existe entre estos países y los de primer mundo [190].

Además se han cubierto aspectos que incluyen la seguridad, la movilidad y sobretodo la calidad, pues la política basada en la garantía de QoS y QoE parece ser el enfoque razonable [191]. Si bien los mecanismos y tecnologías para el núcleo de la capa de transporte y control de calidad de acceso están bien definidos, los temas de interconexión y la interoperabilidad deben resolverse para lograr una gran QoE percibida por el usuario en una conexión de extremo a extremo.

Por tal motivo, investigadores que trabajan en este tópico han desarrollado una propuesta de un estudio basado en un enfoque que involucra todas las capas de los ambientes mediante parametrización, perfiles, negociación y mecanismos arbitrarios, persiguiendo el control de la calidad de extremo a extremo en las respectivas comunicaciones; pues la QoS es un componente vital de cualquier Red y aún más crítica en Redes convergentes [192].

El SG13 está trabajando en avances para mejorar las capacidades de la NGN y de su evolución, pues se plantean estudios en los que la NGN apoyará la CFM, la *Televisión por Protocolo de Internet (IPTV)* (desarrollando una guía de gestión de tráfico sobre NGN) [193], servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión en general, convergencia entre las TIC y otros sectores.

El aumento de la integración y convergencia de las tecnologías avanzadas de comunicación con las tecnologías avanzadas de la información están haciendo disponible un amplio conjunto de capacidades avanzadas para el soporte de nuevos servicios y aplicaciones emergentes, lo que está exigiendo a que las Redes sean cada vez más inteligentes; por lo que el objetivo fundamental es la maximización de la utilización de las capacidades a fin de prestar apoyo a esta gama de servicios y aplicaciones en diferentes Mercados verticales.

En sí, el trabajo que se está desarrollando va más allá de la NGN y mirando hacia las futuras Redes, el SG13 apoyará el desarrollo de normas técnicas para los servicios emergentes, así como para reducir el consumo de energía y gases de efecto invernadero de las TIC; aunque como se planteó en la sección anterior el despliegue de estas tecnologías sería imposible sin el desarrollo de estándares globales que las regularicen.

En ese sentido, todos los esfuerzos se centran en la creación de Redes ubicuas, Redes Ad-hoc, *Internet de las Cosas (IoT)* [194], servicios basados en la inteligencia de Redes avanzadas y las Redes del futuro que van más allá de la NGN, como son las Redes "All IP". Además, teniendo presente a las aplicaciones y servicios basados en la integración de los servicios

anteriores y aplicaciones avanzadas de las TIC, incluyendo a las *Redes Definidas por Software (SDN)* [195].

Es precisamente por esta razón que se están estableciendo avances en estos tópicos que son de primordial importancia para el futuro. Es así como se ha incursionado en las *Redes Vehiculares Ad-hoc (VANETs)*, que son clases específicas de *Redes Móviles Ad-hoc (MANETs)*, y que estudios recientes aseguran que los CODECs para VoIP en ambientes de este tipo de Redes deberían ser más capaces de lidiar con retrasos y manejar la pérdidas de paquetes, lo que se traduciría en una mayor QoS, esto es debido a que las VANETs son más dinámicas [196].

La ITU ha establecido la importancia de desarrollar los modelos de implementación relacionados en este escenario para ayudar en la planificación de la evolución de la Red y para acelerar la disponibilidad de los productos comerciales. Debido a esa acelerada evolución, los operadores de telecomunicaciones han expresado su preocupación en relación con sus inversiones durante este período de continua convergencia; por lo que las soluciones para efectuar estos planes de migración deben proteger a la mayor cantidad posible de las inversiones de los operadores en la infraestructura de Red existente [197].

Otros estudios apuntan al continuo mejoramiento de IMS, pues este estándar contribuye con la convergencia de voz, datos y servicios multimedia. Se está tratando de optimizar su mecanismo, estableciendo una propuesta capaz de reducir la latencia SIP y el tiempo de espera para el servicio en un entorno multiservidor, cuyas soluciones podrían evitar la sobrecarga del servidor SIP y por lo tanto la degradación de QoS [198].

Y es que por sus grandes atributos SIP ha sido elegido como el protocolo de señalización del núcleo de la NGN; sin embargo, los mensajes SIP de gran tamaño representan un obstáculo con el uso de este protocolo en Redes móviles inalámbricas. Por este motivo se ha incursionado con profundidad en este tópico analizando la arquitectura de *Compresión de Señalización (SigComp)* para buscar posibles soluciones en el futuro, y ya existe un trabajo que ha propuesto mejoras adicionales para el algoritmo Deflate. Estos experimentos demuestran que el algoritmo Deflate mejorado puede comprimir el mensaje SIP grandemente y reducir los requisitos de ancho de banda en gran medida, lo que es muy valorado en IMS y en otras aplicaciones SIP inalámbricas en tiempo real [199].

Redes Móviles (WiMAX y LTE)

Debido al gran crecimiento de las tecnologías de acceso, muchos enfoques de estudio apuntan a las Redes móviles. En la ITU, el *Grupo de Estudio 12*

(SG12) es el encargado de esta área y debido al amplio uso y rápida evolución de terminales de comunicación, el trabajo es extenso y muy importante para la normalización de las telecomunicaciones internacionales; por lo que existe la necesidad de estudiar debidamente estas Redes y de definir las especificaciones necesarias en un contexto global.

Existen un sin número de terminales disponibles en el Mercado o en fase de diseño, y gracias a los avances en procesamiento de señales y a la tecnología, es imprescindible fomentar la aplicación de las técnicas de mejora de voz en el diseño del terminal. Entonces, existe el desafío de evaluar estos nuevos terminales de manera que sean considerados adecuados en el futuro, pues a diferencia de los terminales de voz tradicionales, los terminales de interfaz directa con las PSNs (VoIP) deben tener en cuenta otros parámetros relacionados con IP [200].

También se estudia la aplicación de las *Telecomunicaciones Móviles Internacionales Avanzadas (IMT-Advanced)* e IMS en el desarrollo de Redes de telecomunicaciones móviles en los países. Estudios que tratan no sólo del aumento de la transferencia hacia la movilidad, sino además del cambio hacia la convergencia de áreas previamente separadas, como las telecomunicaciones, la información y el entretenimiento [201]. IMT-Advanced es en donde el sector de radiocomunicaciones de la ITU especifica una serie

de requisitos para los estándares 4G, los cuales son cubiertos por los protocolos WiMAX y LTE [202].

WiMAX es una tecnología de acceso inalámbrico que está emergiendo y se presenta como una promesa de las tecnologías de banda ancha, ya que puede soportar una variedad de servicios en tiempo real. Dado la extensión de llamadas de VoIP a Redes inalámbricas es inevitable tener que estudiar la factibilidad de soportar la VoIP sobre WiMAX. Por ende, se han establecido trabajos que han enfocado sus esfuerzos en desarrollar este tema con el fin de mejorar el rendimiento de la VoIP sobre WiMAX, determinando de esta manera parámetros claves como: el rango de cobertura, el tipo de modulación y el valor de la potencia [203]. La importancia de esta tecnología radica en sus beneficios de brindar mayor capacidad para soportar aplicaciones en tiempo real, de este objetivo se derivan estudios en los que evalúan el rendimiento de los diferentes CODECs de VoIP sobre Redes WiMAX; en donde muestran que el CODEC G.723 provee el mejor resultado entre los CODECs analizados según diferentes medidas de rendimiento tales como: *Puntuación Media de Opinión (MOS)*, retardo de los paquetes de extremo a extremo, jitter y variación del retardo de los paquetes [204].

LTE permitiría que los servicios de banda ancha incluyendo VoIP, se ofrezcan a través de Redes compatibles con SIP, en donde cada servicio

estaría basado en IP y ofrecería altas velocidades de datos y baja latencia [205]. Esto significa para los vendedores el desarrollo de un nuevo Mercado para reemplazar la disminución de los ingresos 3G [206, 207].

Si bien el traslado a que todas las tecnologías soporten IP es el camino elegido para la introducción de nuevos servicios, el recorrido que se vislumbra es largo y complicado según el analista Ian Cox de ABI Research; por lo que parece habría que esperar bastante tiempo todavía [208]. Pero mientras tanto, la opción de *Voz sobre Evolución a Largo Plazo (VoLTE)* empleando SIP ha ganado algo de impulso, ya que permite que los nuevos servicios sean diseñados y lanzados utilizando un estándar de apoyo que también abre el camino para los servicios web, plataformas de prestación de servicios [209]...

Inclusive existen desarrolladores que se han involucrado un poco más y conociendo que la tecnología 4G se despliega en dos estándares completamente separados, han establecido una solución para la problemática que se plantea en la implementación de VoIP en Redes 4G. Problemas como que VoLTE no está disponible en todas las compañías 4G, que los protocolos inalámbricos 4G son incompatibles entre sí, y que cuando Redes distintas empleen el mismo protocolo no podrán operar entre ellas si

utilizan diferentes frecuencias inalámbricas. Esta solución de VoIP empleando SIP es denominada SIP social 4G [210].

Los teléfonos 4G trabajarían bajo SIP una vez este protocolo sea habilitado en el respectivo terminal, con lo cual estos teléfonos podrían realizar llamadas SIP si conocen sus direcciones IP. El esquema de la solución se muestra en la figura 5.1.

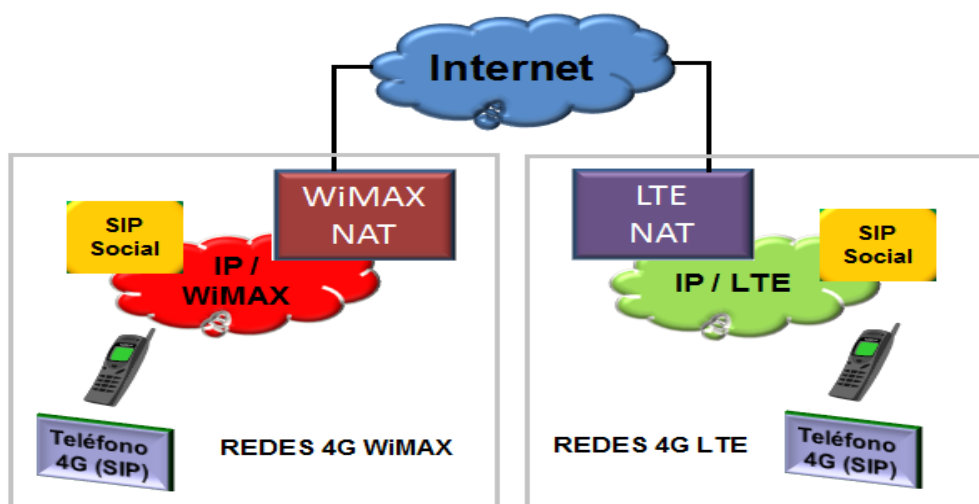


Figura 5.1 Esquema SIP Social para Redes 4G

A medida que más usuarios se muevan a las Redes 4G/LTE basadas en IMS, los proveedores de servicios esperarían un crecimiento exponencial en el tráfico Diámetro generado por los teléfonos inteligentes y otros dispositivos móviles.

Por este motivo se establecen nuevos avances para contrarrestar los posibles efectos debido al incremento del tráfico, introduciendo el concepto del *Controlador de Señalización Diámetro (DSC)*, que es un dispositivo que actúa como un mediador central que hace más eficiente el flujo de mensajes de la señalización Diámetro en la Red. Con esta visión, existen compañías en la actualidad que están ofreciendo estas soluciones para el futuro, pues aseguran que al igual que con la señalización SIP, un nuevo conjunto de controles son necesarios para la seguridad del suministro, la garantía de servicios, la interoperabilidad y la escalabilidad de la Red en IMS [211].

Computación en la Nube

Actualmente están de moda los servicios en la Nube. Por esta razón, no se puede dejar de lado un concepto que está tomando mucha fuerza como la computación en la Nube, que se convierte en un área de investigación muy importante en este momento.

La computación en la Nube no es un concepto nuevo, está basado en el uso de Internet para proporcionar a los usuarios una serie de servicios que pasan por el almacenamiento de datos, el acceso a plataformas, el acceso a Redes locales y todo un sistema de comunicación. Entonces, lo nuevo son sus aplicaciones y múltiples usos como el caso de los teléfonos VoIP desde la Nube o el de las centralitas en la Nube, las cuales no presentan soporte

físico, simplemente están localizadas en la Nube y desde ella son capaces de gestionar las entradas y salidas de llamadas, almacenar los avisos y desviar las llamadas.

La VoIP es sin duda un avance tecnológico de primera magnitud y si a ello se une el gran potencial que aporta la computación en la Nube, estamos ante una enorme revolución en los sistemas de comunicaciones [212].

Sin embargo, los servicios en la Nube a menudo no justifican las expectativas de los clientes, además de ser servicios no regulados. En este caso, no existen métodos transparentes de SLA de supervisión y el acceso al entorno de la Nube podría tomar mucho más tiempo de lo esperado. Por otro lado, los entes de regulación deberían establecer los protocolos de señalización para la interconexión entre las Nubes, así como los servicios y requisitos necesarios para lograr esta interoperabilidad [213].

Las últimas tendencias indican que se deben sustituir los servicios existentes por una solución en la Nube, pues los servicios gestionados garantizan muchas ventajas siempre y cuando la Nube esté gestionada por personal técnico especializado y certificado en los múltiples escenarios y fabricantes, y además se posea un integrador con buena infraestructura que brinde soluciones a todos los problemas de QoS, seguridad, disponibilidad y escalabilidad [214].

WebRTC

El uso de SIP sobre IP, que permite diseñar y lanzar nuevos servicios al Mercado utilizando la Web para proveer VoIP, es el objetivo del proyecto WebRTC. Permite a los navegadores Web las capacidades de comunicaciones en tiempo real a través de sencillos APIs de JavaScript y del *Lenguaje de Marcas de Hipertexto versión 5 (HTML5)* sin necesidad del uso de algún software externo. La iniciativa WebRTC es un proyecto apoyado por *Google, Mozilla y Opera*.

En la actualidad, el aspecto importante de WebRTC es saber que se trata de un servicio de navegador a navegador. Y que definitivamente este puede implicar una nueva Era de las comunicaciones multimedia en su fase inicial [215].

En este contexto, muchos piensan que los protocolos de señalización actuales empleados en la VoIP se convertirían en una carga cuando se trata de WebRTC, debido a que son muy difíciles de implementar en un entorno de navegador Web nativo. Sin embargo, SIP presenta una aplicación conocida como *JsSIP*, que es una librería JavaScript que implementa SIP sobre *WebSocket* y que hace uso de WebRTC [216]. *WebSocket* es un protocolo para la Web que permite transporte de datos bidireccional en tiempo real entre cliente (navegador Web) y servidor [217].

Al momento de referirnos a WebRTC muchas personas lo interpretan como una forma de añadir la Web en el mundo VoIP, pero la mayoría piensan que es una forma de agregar nuevas capacidades multimedia a la Web. Lo cierto es que la WebRTC no desplazaría de la noche a la mañana a la VoIP, pues su desarrollo ha sufrido una larga demora debido a la influencia de compañías de telecomunicaciones, quienes han forzado el uso de SDP en WebRTC con la finalidad de hacerla compatible con SIP y otros protocolos de comunicaciones en tiempo real; por tal razón, se han tenido que escribir numerosos borradores (*drafts*) para adaptar SDP a las nuevas exigencias del mundo Web, proceso que ha demandado mucho tiempo [216].

Es por esto que WebRTC aún no está del todo lista para ser altamente desplegada, considerando sobre todo que este es un servicio no regulado, poco maduro y con enormes disyuntivas por delante que primero deberían ser resueltas antes de ser globalizado. Aunque una vez solucionados estos problemas, este cambio podría efectuarse, no en estos próximos años, pero lo más seguro es que algún día suceda y los proveedores deberían estar preparados para ello.

5.5 DISCUSIÓN

Las acotaciones producidas a partir del desarrollo de esta investigación son producto de un exhaustivo estudio fundamentado en la evolución que las

telecomunicaciones han vivido durante años; así mismo los resultados y observaciones expresadas en este documento se validaron al ser soportados y contrastados con artículos científicos, recomendaciones de los organismos de regulación de las telecomunicaciones, investigaciones de grupos especializados, revistas de tendencias de las TICs y opiniones de expertos en la materia, permitiendo establecer una visión clara acerca del presente de este sector y hacia dónde se dirige.

Esta tecnología ha vivido una gran transición en los últimos 20 años, donde su crecimiento se ha desarrollado con el nacimiento de varias tecnologías subyacentes, aperturas de nuevas Redes y el despliegue de infraestructura de mayor capacidad y nuevos protocolos, mejorando considerablemente la provisión del servicio de VoIP.

En este aspecto el protocolo H.323 fue el que se estableció como el mejor candidato durante muchos años, sin embargo, con la aparición de otros protocolos más versátiles fue perdiendo espacio en el campo de la VoIP; siendo SIP el que en este último tiempo le fue quitando protagonismo, logrando que la mayoría de las soluciones nuevas se implementen para que operen bajo su estándar.

Es así como ha ido tomando el relevo, traduciendo sus cualidades en una amplia aceptación por los fabricantes, sobre todo por su capacidad para soportar nuevos servicios a medida que se desarrollen con el tiempo y sus características de fácil integración con aplicaciones, programas u otros protocolos.

Como se ha establecido en este trabajo existen protocolos de señalización con gran proyección para el futuro, como el caso de IAX, que es el preferido por el gran Mercado que representa la comunidad de código abierto, lo que es muy atractivo sobre todo por el auge que expone este nicho de Mercado en la actualidad; que ha manifestado un incremento sustancial en los últimos años, lo que implicaría que esta tendencia se mantendría en los años venideros. MEGACO, se establece como un protocolo mejorado, el cual ha sido adaptado para emplearse en la señalización de la NGN. Sin embargo, tanto las tendencias por parte de los fabricantes de equipos, como el hecho de que los operadores hayan decidido soportarlo, hacen que SIP se vuelva la opción clara en el futuro de la VoIP. Por tal razón, existe un consenso general acerca de que SIP es el mejor de todos, manifestándose este argumento en su elección como protocolo de señalización para el nivel de aplicación en IMS.

Esto ha confirmado su actual posición como óptimo, al ser muy requerido para muchas aplicaciones de comunicaciones que van desde la VoIP hasta la NGN, incluyendo servicios de comunicaciones 4G; por lo que a menudo este protocolo es referenciado como el futuro de las comunicaciones unificadas [218].

Es por esto que SIP difícilmente será reemplazado en los próximos años, considerando las múltiples ventajas que ofrece en cuanto a su adaptación para nuevas tecnologías, protocolos y aplicaciones. SIP en definitiva representa un estándar muy eficiente que evoluciona con el tiempo.

En los apéndices B y C se puede observar un análisis acerca del estado actual y futuro de los protocolos de señalización de la VoIP en referencia al ámbito comercial, regulatorio, científico y técnico; sintetizando todo lo que se ha abarcado en este trabajo.

Basados en los estudios expuestos se abarca a la NGN como la evolución natural de la VoIP, estableciendo que con la VoIP empezó un nuevo fenómeno tecnológico que una vez que maduró; evolucionó para ser adoptado por las grandes operadoras de telecomunicaciones. Esto se hizo desplegando plataformas NGN (Redes fijas) e IMS (Redes móviles), convergiendo ambas en un concepto común NGN/IMS.

Finalmente, se puede establecer como la VoIP/NGN representa una transición desde las Redes de telefonía tradicionales hacia las nuevas Redes IP, y en definitiva la convergencia de éste y otros servicios sobre una única tecnología IP junto a la mayor capacidad de los nuevos terminales, posibilita nuevas funcionalidades que mejoran la comunicación y abren nuevas oportunidades de negocio. Y es por este motivo que la regulación no se puede atrasar, y las nuevas reformas deberían ir de la mano con este acelerado crecimiento para de esta forma no estancar, ni limitar el avance tecnológico en esta nueva etapa de las TIC.

CONCLUSIONES

1. A partir del desarrollo de la investigación se concluye que las Redes VoIP no serán las únicas en el futuro, pero que gracias a sus protocolos de señalización tendrían la ventaja de adaptarse a nuevas tecnologías, haciendo posible que estas Redes pueden coexistir con otras.
2. Mediante las aportaciones de criterios de especialistas del Mercado, se puede concluir que la VoIP tiene asegurada su vigencia por los próximos años, pues nada detendría su creciente demanda, más aún con la consolidación en el Mercado de las Redes 4G.
3. Se puede concluir que SIP es el protocolo de mayor acogida en la actualidad. Su impacto se ve reflejado en grandes compañías que lo están adoptando, haciendo que sus nuevos productos sean compatibles con él.
4. Como se ha establecido en este trabajo existen tres protocolos de señalización con gran proyección para el futuro, como IAX que es el preferido por el gran Mercado que representa la comunidad de código abierto; MEGACO que ha sido adaptado para emplearse en la

señalización de la NGN; SIP que ha logrado que la mayoría de las soluciones nuevas se implementen para que operen bajo su estándar.

5. Se puede concluir que SIP se ha convertido en el protocolo del futuro de la VoIP, pues SIP representa un estándar muy eficiente que evoluciona con el tiempo.
6. Se concluye que mas allá de las ventajas que supone la transición hacia las Redes IPv6, en un principio afectarían a los servicios basados en VoIP debido al tiempo relativamente muy largo en el que se pronostica que IPv4 e IPv6 tendrían que convivir; pues existen diferencias muy marcadas entre estos dos protocolos y no han sido diseñados para inter-operar entre ellos.
7. Se puede establecer que la NGN tiene un futuro prometedor, pues representa la convergencia tecnológica de los servicios multimedia, lo que implica nuevas funcionalidades para mejorar las comunicaciones y abrir nuevas oportunidades de negocio.
8. Mediante el desarrollo del estudio se puede establecer que algunos países aún no cuentan con una regulación específica para la VoIP, aunque actualmente se ha legalizado la comercialización de estos servicios en muchos países y en otros tantos está por legalizarse.
9. Se puede concluir que la idea de las Redes "All IP" está tomando fuerza, a tal punto de considerar el despliegue hacia este tipo de Redes imparables; sin embargo, por el momento es lejano este modo de

interconexión IP, pero de plasmarse, el concepto de NGN quedaría sin vigencia.

10. Se concluye que LTE permitirá a los servicios de banda ancha incluyendo VoIP, que se ofrezcan a través de Redes compatibles con SIP, en donde cada servicio estaría basado en IP y ofrecería altas velocidades de datos y baja latencia.
11. Se pueden establecer que los tópicos de investigación de mayor relevancia en el futuro que están relacionados con los servicios de VoIP estarían entorno de: algoritmos y esquemas de paquetes de cifrado, procedimientos de protocolos para permitir la implementación y despliegue de servicios a través de Redes IPv6, recomendaciones para escenarios de migración a las NGNs y Redes 4G, aplicaciones y múltiples usos para la computación en la nube junto a la VoIP, compatibilidad de WebRTC con SIP y otros protocolos de comunicaciones en tiempo real.
12. Una vez finalizada la investigación se puede concluir que la WebRTC no desplazaría de la noche a la mañana a la VoIP, pues aún no está del todo lista para ser altamente desplegada considerando que es un servicio poco maduro y que carece de regulación específica.

RECOMENDACIONES

1. Para nuevos trabajos relacionados, se recomienda indagar en aplicaciones y servicios futuros que tendrán auge a partir de la integración y convergencia de las tecnologías de comunicación con las tecnologías de la información.
2. Se recomienda hacer un seguimiento a los campos relacionados con la VoIP, pues seguirá siendo un tema de gran desarrollo de productos y estándares; con lo que podemos esperar más soluciones de VoIP y más despliegues de protocolos en los próximos años.
3. Se recomienda desarrollar un modelo de Dinámica de Sistemas que sea capaz de describir el futuro de la VoIP, tomando como base el trabajo realizado.

APÉNDICES

APÉNDICE A

CARACTERÍSTICAS DE LOS PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN DE VoIP

PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN					
CARACTERISTICA	H.323	SIP	MGCP	MEGACO	IAX
DEFINIDO POR:	ITU	IETF	IETF	IETF/ITU	IETF
VERSION ACTUAL	H.323v7 (2009)	RFC 3261 (2002)*	RFC 3435 (2003)	RFC 5125 (2005)*	RFC 5456 (2010)*
ARQUITECTURA	DISTRIBUIDA	DISTRIBUIDA	CENTRALIZADA	CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
TIPO DE CLIENTES	INTELIGENTE	INTELIGENTE	TONTO	TONTO	INTELIGENTE
DESCRIPCION DE LA SESION	SDP	H.245	SDP	SDP	-----
RESPONSABLE DEL CONTROLDE LA LLAMADA	GATEKEEPER	SERVIDOR	MEDIA GATEWAY CONTROLLER	MEDIA GATEWAY CONTROLLER	SERVIDOR
PUNTOS FINALES	GATEWAY, TERMINAL	AGENTE DE USUARIO	MEDIA GATEWAY	MEDIA GATEWAY	TERMINAL

PROTOCOLO DE TRANSPORTE	TCP, UDP (DISPONIBLE DESPUES DE LA VERSION 3)	TCP, UDP	UDP	TCP, UDP	UDP
CODIFICACION DE MENSAJES	ASN.1 - BINARIA	ABNF - ASCII	ASN.1 - BINARIA	ASN.1 - BINARIA	ASN.1 - BINARIA
SOPORTE MULTIMEDIA	SI	SI	SI	SI	SI
SEGURIDAD	H.235	AUTENTICACION TIPO HTTP, S/MIME, TLS	IPsec, sRTP	IPsec	DTLS Y MECANISMOS PARA AUTENTICAR Y ENCRIPtar (TEXTO PLANO, MD5, RSA, AES 128)

** Estándar sigue sometido a renovaciones*

APÉNDICE B

ESTADO PRESENTE DE LOS PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN DE VoIP

	ENFOQUE COMERCIAL	ENFOQUE REGULATORIO	ENFOQUE CIENTÍFICO	ENFOQUE TÉCNICO	
H.323	Aunque bajo este estándar muchas implementaciones robustas han sido desarrolladas por vendedores de software, su éxito entre los consumidores y las empresas ha ido disminuyendo.		Ha ido evolucionado desde sus inicios para tratar de cubrir todas las necesidades de la VoIP. Esta especificación ha dejado de ser sometida a renovaciones.	Recomendación cerrada y de alta complejidad. H.323 es considerada técnicamente superior al resto de protocolos, sin embargo actualmente se encuentra en decadencia.	
SIP	Está siendo ampliamente adoptado, reflejando un gran impacto en el Mercado de las Telecomunicaciones.		Aunque algunos países no cuentan con una regulación específica para la VoIP, actualmente se ha legalizado la comercialización de estos servicios en muchos países y en otros tantos está por legalizarse.	En medio de la proliferación de soluciones SIP se han establecido multitudes de aplicaciones de código abierto que operan como servidores SIP, así como el mejoramiento de los servicios de SIP como Red troncal (SIP trunking).	Ha ido sustituyendo al H.323 debido a su simplicidad, mayor flexibilidad, reducción de costos, rapidez y menor consumo de recursos en las conexiones que ejecuta.
MGCP	Fue rápidamente perdiendo espacio frente a SIP, IAX y MEGACO.		La especificación MGCP no se desarrolla más, puesto que sus aplicaciones están en desuso frente a un estándar superior como MEGACO.	Diseñado para hacer a los terminales tan simples como sea posible. Es más simple que MEGACO en muchos aspectos.	

MEGACO	Los operadores tradicionales han sido los que mayor interés han demostrado en las ventajas que brinda este protocolo, pensando en integrar progresivamente sus SCNs y sus PSNs en una Red homogénea.		MEGACO es creado con la finalidad de cumplir con diversos requisitos que no han sido atendidos correctamente por MGCP.	Debido a los tipos de dispositivos específicos para el control de MEGACO y el bajo nivel de su estructura de control, este estándar es generalmente visto como un complemento de H.323 y SIP.
IAX	Protocolo apoyado por muchos proveedores de hardware por ser muy útil en ciertas aplicaciones donde se desea optimizar el ancho de banda.		Cumple con las expectativas planteadas como protocolo para VoIP, convirtiéndose en un estándar eficiente por considerar las necesidades actuales.	Es robusto, completamente equipado y muy simple en comparación con otros protocolos.

APÉNDICE C

ESTADO FUTURO DE LOS PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN DE VoIP

	ENFOQUE COMERCIAL	ENFOQUE REGULATORIO	ENFOQUE CIENTÍFICO	ENFOQUE TÉCNICO
H.323	La disminución de aceptación de H.323 entre los proveedores produciría que se dejen de realizar nuevas aplicaciones que soporten este estándar.	Permitir o prohibir VoIP no es el único problema que deberán enfrentar los organismos reguladores. El objetivo radicaría en el planteamiento de una legislación que sea capaz de afrontar temas que incluyen:	Presenta dificultades para adaptarse a futuras tecnologías, siendo considerado como un protocolo poco asequible para inter-operar con infraestructura futura.	Deficiente ahorro en el ancho de banda, poca escalabilidad y flexibilidad, ha provocado que los proveedores miren hacia otros protocolos para el desarrollo de nuevos servicios.
SIP	Todos los nuevos usuarios y productos comerciales se espera puedan soportar SIP, y cualquier producto existente en un futuro cercano sería difícil de vender a menos que se ofrezca su migración a SIP.	los marcos regulatorios para la interconexión de las PSNs y las SCNs, y para la utilización del servicio de VoIP móvil, con la finalidad de evitar inconvenientes con los operadores móviles en términos económicos y problemas en lo relativo a la numeración y a los servicios de emergencia.	Se están investigando escenarios de migración que motivarían a los operadores a preferir SIP debido a su mayor potencial para adaptarse a nuevas normas (IPv6, IMS, LTE, WebRTC...).	Sus características técnicas facilitarían el desarrollo de nuevos y mejores servicios y aplicaciones multimedia convergentes sobre Internet.
MGCP	Especificación en desuso. No sería empleada en el futuro.		Especificación en desuso. No sería empleada en el futuro.	Especificación en desuso. No sería empleada en el futuro.

MEGACO	Es un protocolo con futuro en el Mercado por ser uno de los protocolos que participa en la señalización de NGN, sirviendo como complemento para SIP.		Por su relevancia en la migración a las nuevas versiones de Redes, MEGACO ha sido adoptado como un protocolo de señalización para NGN.	Cumple a calidad su cometido; sin embargo, en el momento que se pretenda ofrecer servicios más avanzados se requeriría el empleo de un protocolo con un mayor número de funcionalidades.
IAX	Presenta un nicho de mercado muy interesante, el cual crece conforme se incrementa el desarrollo de software libre.		Su naturaleza abierta permite realizar nuevas incorporaciones para apoyar servicios adicionales.	Suficientemente flexible y escalable, siendo capaz de sobrellevar nuevas necesidades que se presenten en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Waldron G. y Welch R., “Voice-over-IP: The Future of Communications”, Best Practices, Global Internet Policy Initiative (GIPI), 2002, consultado el 2 de febrero de 2013 en <http://www.internetpolicy.net/practices/voip.pdf>.
- [2] Alba J., Nuñez M. y Sanz M., “Evolución de las redes desde el punto de vista del núcleo de la red”, Evolución de las Redes (CORE), BIT, 2005, num. 148, pp. 34 – 36.
- [3] Soares V., Neves P. y Rodrigues J., “Past, Present and Future of IP Telephony”, en International Conference on Communication Theory, Reliability and Quality of Service, IEEE, Bucarest, 2008, pp. 19 – 24.
- [4] Vilar M., “Presente y futuro de la VoIP”, Tendencias, BIT, num. 137, 2003, pp. 90 – 92.
- [5] Abbasi T., Prasad S., Seddigh N. y Lambadaris I., “A comparative study of the SIP and IAX VoIP protocols”, en Conference on Electrical and Computer Engineering, IEEE, Saskatoon, Sask., 2005, pp. 179 – 183.
- [6] Basicovic I., Popovic M. y Kukolj D., “Comparison of SIP and H.323 Protocols”, en 3rd International Conference on Digital Telecommunications, IEEE, Bucarest, 2008, pp. 162 – 167.

- [7] Haiyang S., Liyan D. y Zhaojun L., “Research on SIP and H.323 Protocol Conversion”, en 3rd International Conference on Innovate Computing Information and Control, IEEE, Dalian, Liaoning, 2008,pp. 366 – 369.
- [8] Cycon H., Hege G., Marpe D., Palkow M., Schmidt T. y Wahlisch M., “Connecting the Worlds: Multipoint Videoconferencing Integrating H.323 and IPv4, SIP and IPv6 with Autonomous Sender Authentication”, en 13th International Symposium on Consumer Electronics, IEEE, Kyoto, 2009, pp. 890 – 893.
- [9] Zhang X., Fan C. y Li H., “The Application and Implementation of SIP in Next Generation Network (NGN)”, en Second Pacific – Asia Conference on Circuits, Communications and System, IEEE, Beijing, 2010,vol. 2, pp. 101 - 104.
- [10] Moreno J., Soto I. y Larrabeiti D., “Protocolos de Señalización para el transporte de Voz sobre redes IP”, Novática, 2001, num. 151, pp., 14 – 20.
- [11] Bautista M. y Rosales D., “Protocolo de Señalización 7: Definición, Aplicaciones Actuales y su Implementación en Redes de Telecomunicaciones en Guatemala”, Tesis de Grado, Universidad Francisco Marroquín, Guatemala, 2002.
- [12] Goode B., “Voice over Internet protocol (VoIP)”, Proceedings of the IEEE, IEEE, 2002, vol. 90, num. 09, pp. 1495 - 1517.

- [13] Minoli D., y Minoli E., “Signaling Approaches”, en *Delivering Voice over IP Networks*, segunda edición, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2002, pp. 183 – 221.
- [14] Stoll C., “Protocols for VoIP”. En: Van Meggelen J., Madsen L. y Smith J. (Eds.), *Asterisk: The Future of Telephony*, segunda edición, O’Reilly Media, Inc., 2007, pp. 185 - 193.
- [15] Durkin J., “The Telephony Service Provider: An Overview”, en *Voice-Enabling the Data Network: H.323, MGCP, SIP, QoS, SLAs, and Security*, Cisco Press, 2003, pp. 4 – 5.
- [16] Wallingford T., “Voice and Data: Two Separate Worlds?”, en *Switching to VoIP*, O’Reilly Media, Inc., Estados Unidos, 2005, pp. 1 – 11.
- [17] Ellis J., Pursell C. y Rahman J., “Data and voice traffic”, en *Communications Engineering Desk Reference*, Elsevier, Inc., 2009, pp. 153 – 164.
- [18] Nyquist H., “Certain Topics in Telegraph Transmission Theory”, *Transactions AIEE*, 1928, vol. 47, num. 2, pp. 617 – 644.
- [19] Adams S., “A Telephony Revolution”. En: Van Meggelen J., Madsen L. y Smith J. (Eds.), *Asterisk: The Future of Telephony*, segunda edición, O’Reilly Media, Inc., 2007, pp. 1 - 9.
- [20] Schulzrinne H., Casner S., Frederick R. y Jacobson V., “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, IETF RFC3550, 2003, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>.

- [21] Schulzrinne H., Rao A. y Lanphier R., “Real Time Streaming Protocol (RTSP)”, IETF RFC2326, 1998, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt>.
- [22] Shen Z., Bai G., Wang W. y Cheng S., “Real-time Signaling Transport Protocol for VoIP”, en Asia – Pacific Conference on Circuits and Systems, IEEE, Tianjin, 2000, pp. 845 – 848.
- [23] Bai G., Long K., Wang W. y Cheng S., “A New Reliable Signaling Transport Protocol RSTP for Voice over IP”, en Fifth Asia – Pacific Conference on Communications and Fourth Optoelectronics and Communications Conference, IEEE, Beijing, China, 1999, pp. 263 – 266.
- [24] Durkin J., “QoS Considerations in VoIP Network Design”, en Voice-Enabling the Data Network: H.323, MGCP, SIP, QoS, SLAs, and Security, Cisco Press, 2003, pp. 83 – 86.
- [25] Ellis J., Pursell C. y Rahman J., “VoIP Technology”, en Communications Engineering Desk Reference, Elsevier, Inc., 2009, pp. 189 – 195.
- [26] Collins M., “VoIP with FreeSWITCH: Talk Soft”, Linux Magazine, 2009, num. 106, pp. 54 – 58.
- [27] Perera J., “Introducción a la VoIP a través de Elastix”, Memoria del Proyecto, UOC, 2013, pp. 57 – 94.
- [28] Kelly T., “Ten VoIP Manufacturers”, en VoIP for Dummies, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2005, pp. 227 – 232.

- [29] Wallingford T., “VoIP Vendors and Services”, en *Switching to VoIP*, O’Reilly Media, Inc., USA, 2005, pp. 370 – 381.
- [30] ITU-T, “Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service”, Recommendation ITU-T H.323, 1996, consultado el 10 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-199611-S/en>.
- [31] ITU-T, “Packet-based multimedia communications systems”, versión 2, Recommendation ITU-T H.323, 1998, consultado el 10 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-199802-S/en>.
- [32] ITU-T, “Packet-based multimedia communications systems”, versión 3, Recommendation ITU-T H.323, 1999, consultado el 10 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-199909-S/en>.
- [33] ITU-T, “Packet-based multimedia communications systems”, versión 4, Recommendation ITU-T H.323, 2000, consultado el 10 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-200011-S/en>.
- [34] ITU-T, “Packet-based multimedia communications systems”, versión 5, Recommendation ITU-T H.323, 2003, consultado el 10 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-200307-S/en>.
- [35] ITU-T, “Packet-based multimedia communications systems”, versión 6, Recommendation ITU-T H.323, 2006, consultado el 10 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-200606-S/en>.

- [36] ITU-T, "Packet-based multimedia communications systems", versión 7, Recommendation ITU-T H.323, 2009, consultado el 10 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-200912-I/en>.
- [37] ITU-T, "Data protocols for multimedia conferencing", Recommendation ITU-T H.120, 2007, consultado el 15 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-T.120-200701-I/en>.
- [38] ITU-T, "Control protocol for multimedia communication", Recommendation ITU-T H.245, 2011, consultado el 18 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.245-201105-I/es>.
- [39] ITU-T, "ISDN user-network interface layer 3 specification for basic call control", Recommendation ITU-T Q.931, 1998, consultado el 18 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-Q.931-199805-I/en>.
- [40] ITU-T, "Call signalling protocols and media stream packetization for packet-based multimedia communication systems", Recommendation ITU-T H.225.0, 2009, consultado el 18 de diciembre de 2012 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.225.0-200912-I/en>.
- [41] Rosenberg J., Schulzrinne H., Camarillo G., Johnston A., Peterson J., Sparks R., Handley M. y Schooler E, "SIP: Session Initiation Protocol", IETF RFC 3261, 2002, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>.

- [42] Rosenberg J. y Schulzrinne H., "Reliability of Provisional Responses in the Session Initiation Protocol (SIP)", IETF RFC 3262, 2002, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3262.txt>.
- [43] Rosenberg J. y Schulzrinne H., "Session Initiation Protocol (SIP): Locating SIP Servers", IETF RFC 3263, 2002, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3263.txt>.
- [44] Rosenberg J. y Schulzrinne H., "An Offer/Answer Model with Session Description Protocol (SDP)", IETF RFC 3264, 2002, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3264.txt>.
- [45] Roach A., "Session Initiation Protocol (SIP)-Specific Event Notification", IETF RFC 3265, 2002, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3265.txt>.
- [46] Olson S., Camarillo G., y Roach A., "Support for IPv6 in Session Description Protocol (SDP)", IETF RFC 3266, 2002, consultado el 1 de febrero de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc3266>.
- [47] Handley M. y Jacobson V., "SDP: Session Description Protocol", IETF RFC 2327, 1998, consultado el 15 de mayo de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2327.txt>.
- [48] Handley M., Perkins C. y Whelan E., "Session Announcement Protocol", IETF RFC 2974, 2000, consultado el 15 de mayo de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2974.txt>.

- [49] Greene N., Ramalho M. y Rosen B., "Media Gateway Control Protocol Architecture and Requirements", IETF RFC 2805, 2000, consultado el 15 de febrero de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc2805>.
- [50] Arango M. y Huitema C., "Simple Gateway Control Protocol (SGCP)", IETF, 1998, consultado el 15 de febrero de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/draft-huitema-sgcp-v1-02>.
- [51] Dugan A., "IPDC Connection Control Protocol", IETF, 1998, consultado el 15 de febrero de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/draft-dugan-ipdc-connection-00>.
- [52] Andreasen F., "Media Gateway Control Protocol (MGCP)", IETF RFC 3435, 2003, consultado el 15 de febrero de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3435.txt>.
- [53] Sijben P., Buckley M., Fritz T., Wachter J., Segers J. y Li C., "Toward the PSTN/Internet Inter-Networking MEDIA DEVICE CONTROL PROTOCOL", IETF, 1998, consultado el 16 de febrero de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/draft-sijben-megaco-mdcp-00>.
- [54] Cuervo F., Greene N., Rayhan A., Huitema C., Rosen B. y Segers J., "Megaco Protocol Version 1.0", IETF RFC 3015, 2000, consultado el 16 de febrero de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc3015>.
- [55] Taylor T., "Reclassification of RFC 3525 to Historic", IETF RFC 5125, 2008, consultado el 17 de febrero de 2013 en <ftp://ftp.ietf.org/rfc/rfc5125.txt>.

- [56] Spencer M., Capouch B., Guy E. (Ed.), Miller F. y Shumard K., "IAX: Inter-Asterisk eXchange Version 2", IETF RFC 5456, 2010, consultado el 25 de febrero de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5456>.
- [57] Ghencea A. y Gereca F., "QoS and Voice over IP", Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology, 2012, num. 4, pp. 187 – 199.
- [58] Floyd S. y Allman M., "Comments on the Usefulness of Simple Best-Effort Traffic", IETF RFC 5290, 2008, consultado el 2 de abril de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5290>.
- [59] Braden R., Clark D. y Shenker S., "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", IETF RFC 1633, 1994, consultado el 2 de abril de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc1633>.
- [60] Braden R., (Ed.), Zhang L., Berson S., Herzog S. y Jamin S., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP)", IETF RFC 2205, 1997, consultado el 2 de abril de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2205.txt>.
- [61] Blake S., Black D., Carlson M., Davies E., Wang Z. y Weiss W., "An Architecture for Differentiated Services", IETF RFC 2475, 1998, consultado el 2 de abril de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>.
- [62] Heinanen J., Barker F., Weiss W. y Wroclawski J., "Assured Forwarding PHB Group", IETF RFC 2597, 1999, consultado el 2 de abril de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2597.txt>.

- [63] Jabcoson V., Nichols K. y Poduri K., “An Expedited Forwarding PHB”, IETF RFC 2598, 1999, consultado el 2 de abril de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2598.txt>.
- [64] Aamir M., Zaidi M. y Mansoor H., “Performance Analysis of DiffServ based Quality of Service in a Multimedia Wired Network and VPN effect using OPNET”, International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 2012, vol. 9, num. 3, pp. 368 - 376.
- [65] Canalis M., “MPLS Multiprotocol Label Switching”, en MPLS: Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI, Trabajo Final de Aplicación, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina, 2003, pp. 99 – 102.
- [66] Rosen E., Viswanathan A. y Callon R., “Multiprotocol Label Switching Architecture”, IETF RFC 3031, 2001, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt>.
- [67] Rahman M., Kabir A., Lutfullah K., Hassan M. y Amin M., “Performance Analysis and the Study of the behavior of MPLS Protocols”, Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering, IEEE, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, pp. 226 – 229.
- [68] Kaur G. y Kumar D., “MPLS Technology on IP Backbone Network”, International Journal of Computer Applications (IJCA), 2010, vol. 5, num.1, pp. 13 - 16.

- [69] Canalis M., "MPLS Multiprotocol Label Switching", en MPLS: Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI, Trabajo Final de Aplicación, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina, 2003, pp. 139 – 146.
- [70] Shaker R. y Maswady M., "Performance Evaluation for VoIP over IP and MPLS", World of Computer Science and Information Technology Journal (WCSIT), 2012, vol. 2, num. 3, pp. 110 – 114.
- [71] Mannie E., (Ed.), "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture", IETF RFC 3945, 2004, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc3945>.
- [72] Guha S., (Ed.), Biswas K., Ford B., Sivakumar S. y Srisuresh P., "NAT Behavioral Requirements for TCP", IETF RFC 5382, 2008, consultado el 2 de junio de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5382>.
- [73] Audet F., (Ed.) y Jennings C., "NAT Behavioral Requirements for Unicast UDP", IETF RFC 4787, 2007, consultado el 2 de junio de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc4787>.
- [74] Thernelius F., "SIP, NAT, and Firewalls", Tesis de Master, Kungl Tekniska Högskolan, Estocolmo, Suecia, 2000.
- [75] Ford B., Srisuresh P. y Kegel D., "Peer-to-Peer Communication Across Network Address Translators", Proceedings of the USENIX Annual Technical Conference, USENIX, California, Estados Unidos, 2005, pp. 179 – 192.

- [76] Cartes V. y Hanson J., “Solución de Transversalidad de NAT para el intercambio de flujos de medios sobre UDP en comunicaciones VoIP con señalización SIP”, Tesis de Grado, Universidad del Cono Sur de las Américas, Asunción, Paraguay, 2008.
- [77] Yeryomin Y., Evers F. y Seitz J., “Solving the Firewall and NAT Traversal Issues for SIP-based VoIP”, International Conference on Telecommunications, IEEE, San Petersburgo, 2008, pp. 1 - 6.
- [78] Pinedo C., Lorente O., Jacob E., Saiz P. y Aguado M., “Arquitectura de una solución de Voz sobre IP real compatible con NAT”, Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del País Vasco, España, 2001.
- [79] Hautakorpi J., (Ed.), Camarillo G., Penfield R., Hawrylyshen A. y Bhatia M., “Requirements from Session Initiation Protocol (SIP): Session Border Control (SBC) Deployments”, IETF RFC 5853, 2010, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5853>.
- [80] Rosenberg J., Mahy R., Matthews P. y Wing D., “Session Traversal Utilities for NAT (STUN)”, IETF RFC 5389, 2008, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5389>.
- [81] Lin Y., Tseng C., Ho C. y Wu Y., “How NAT-compatible are VoIP applications?”, Communications Magazine, IEEE, 2010, vol. 48, num. 12, pp. 58 – 65.

- [82] Ramsdell B. y Turner S., "Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions (S/MIME) Version 3.2 Message Specification", IETF RFC 5751, 2010, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5751>.
- [83] Dierks T. y Rescorla E., "The Transport LAYER Security (TLS) Protocol Version 1.2", IETF RFC 5246, 2008, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5246>.
- [84] Kent S. y Seo K., "Security Architecture for the Internet Protocol", IETF RFC 4301, 2005, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc4301>.
- [85] Baugher M., McGrew D., Naslund M., Carrara E. y Norrman K., "The Secure Real-time Transport Protocol (SRTP)", IETF RFC 3711, 2004, consultado el 10 de noviembre de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3711.txt>.
- [86] Rescorla E. y Modadugu N., "Datagram Transport Layer Security", IETF RFC 4347, 2006, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc4347>.
- [87] González E., "Estudio IPv6", Proyecto Final de Máster Software Libre, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, España, 2012.
- [88] Deering S. y Hinden R., "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", IETF RFC 2460, 1998, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>.

- [89] Corner S., "IPv6 traffic volumes going backwards", iTWire, 2011, consultado el 4 de junio de 2013 en <http://www.itwire.com/business-it-news/networking/46689-ipv6-traffic-volumes-going-backwards>.
- [90] Che X. y Lewis D., "IPv6: Current Deployment and Migration Status", International Journal of Research and Reviews in Computer Science (IJRRCS), 2010, vol. 1, num. 2, pp. 22 - 29.
- [91] Wu P., Cui Y., Wu J., Liu J. y Metz C., "Transition from IPv4 to IPv6: A State-of-the-Art Survey", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2012, vol. 15, num. 3, pp. 1407 – 1424.
- [92] Ávila O., "Migración del protocolo IPv4 a IPv6", ContactoS 79, 2011, pp. 55 – 60.
- [93] Poppe Y., "IPv6: A 2012 Report Card", CircleID [Blog], 2012, consultado el 4 de junio de 2013 en http://www.circleid.com/posts/20121128_ipv6_a_2012_report_card/.
- [94] Shalni D. y Sankaranarayanan K., "IPv4/IPv6 Transition Mechanisms", en European Journal of Scientific Research, 2009, vol. 34, num. 1, pp. 110 – 124.
- [95] Carpenter B. y Jiang S., "IPv6 Guidance for Internet Content Providers and Application Service Providers", IETF RFC 6883, 2013, consultado el 4 de junio de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc6883>.
- [96] Bouras C, Gkamas A., Primpas D. y Stamos K., "Performance Evaluation of an IPv6-capable H.323 Application", en 18th International Conference

- on Advanced Information Networking and Applications, IEEE, 2004, pp. 470 – 475.
- [97] Minh N., Quynh N., Rantapuska T., Utriainen J. y Matilainen M., “Transition From IPv4 To IPv6: A Method for Large Enterprise Networks”, The First International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies, IARIA, Venecia, Italia, 2012, pp. 5 – 14.
- [98] Awduche D., “Benefits of IPv6 for Enterprises”, Verizon Communications Inc., 2012, consultado el 28 de agosto de 2013 en http://www.verizonenterprise.com/resources/whitepapers/wp_benefits-of-ipv6-for-enterprises_en_xg.pdf.
- [99] Lambrinos L y Kirstein P., “Integrating Voice over IP services in IPv4 and IPv6 networks”, Proceedings of the International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, IEEE, Guadalupe, 2007, pp. 54 - 59.
- [100] Limkar S., Jha R. y Pimpalkar S., “IPv6: Issues and Solution for Next Millennium of Internet”, International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET), Mumbai, India, 2011, pp. 953 - 954.
- [101] Abusin A., Jahangir M. y Abdullah J., “Testing and Analysis of VoIPv6 (Voice over Internet Protocol v6) Performance Using FreeBSD”, International Journal Communications, Network and System Sciences, 2012, vol. 5, num. 5, pp. 298 – 302.

- [102] Lazo C. y Glöckler R., “Impacts of mobility on wireless access to IPv6 networks”, Instituto de Informática, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2006, pp. 101 – 112.
- [103] Popoviciu C., Levy-Aegnoli E. y Grossetete P., “The Case for IPv6 an Updated Perspective”, en *Deploying IPv6 Networks*, Cisco Press, 2006, pp. 21 – 41.
- [104] Popoviciu C., Levy-Aegnoli E. y Grossetete P., “Implementing QoS”, en *Deploying IPv6 Networks*, Cisco Press, 2006, pp. 208 – 238.
- [105] Guevara A., “Nivel de desempeño en redes IPv4 con respecto a redes IPv6 con MPLS y RSVP”, *Revista Tecnura*, 2011, vol. 15, num. 28, pp. 123 – 133.
- [106] Berson S., “RSVP and Integrated Services with IPv6 Flow Labels”, IETF, 1999, consultado el 28 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/draft-beron-rsvp-ipv6-fl-00>.
- [107] Hoehner T., Tomic S. y Menedetter R., “SIP collides with IPv6”, *International Conference on Networking and Services*, IEEE, Silicon Valley, CA, 2006, pp. 10 – 15.
- [108] Hoehner T., Petraschek M., Tomic S. y Hirschbichler M., “Evaluating Performance Characteristics of SIP over IPv6”, *Journal of Networks (JNW)*, 2007, vol. 2, num. 4, pp. 40 – 50.

- [109] Camarillo G., El Malki K. y Gurbani V., "IPv6 Transition in the Session Initiation Protocol (SIP)", IETF RFC 6157, 2011, consultado el 28 de agosto de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc6157>.
- [110] Hanrahan H., "Setting the Context for Evolution and Convergence of Networks", en *Network Convergence: Services, Applications, Transport, and Operations Support*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Inglaterra, 2007, pp. 32 – 40.
- [111] ITU-T, "General overview of NGN", Recommendation ITU-T Y.2001, 2004, consultado el 20 de septiembre de 2013 en <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2001-200412-I/en>.
- [112] Hanrahan H., "An NGN: the Managed Voice over IP Network", en *Network Convergence: Services, Applications, Transport, and Operations Support*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Inglaterra, 2007, pp. 131 – 192.
- [113] Lim J., Kim W., Park C. y Conroy L., "Operational Requirements for ENUM-Based Softswitch Use", IETF RFC 5346, 2008, consultado el 20 de septiembre de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc5346>.
- [114] Soininen J., (Ed.), "Transition Scenarios for 3GPP Networks", IETF RFC 3574, 2003, consultado el 28 de julio de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3574.txt>.
- [115] ETSI, "Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Release 1; Release definition", ETSI TR 180 001 v1.1.1, 2006, consultado el 20 de septiembre

http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/180000_180099/180001/01.01.01_60/tr_180001v010101p.pdf.

- [116] Bertrand G., “The IP Multimedia Subsystem in Next Generation Networks”, Network, Security and Multimedia department (RSM), Telecom Bretagne, Rennes, Francia, 2007, pp. 1 - 9.
- [117] Martinez R., “The IMS”, en Internet Multimedia Communications Using SIP, Elsevier, Inc, Burlington, Massachusetts, Estados Unidos, 2008, pp. 532 – 536.
- [118] Al-Begain K., Balakrishna C., Galindo L. y Moro D., “IMS Deployment”, en IMS: A Development and Deployment Perspective, John Wiley & Sons, Ltd., 2009, Chichester, Reino Unido, pp. 161 – 194
- [119] Sonus, “The ABCs of Diameter Signaling”, Sonus Networks, Inc., Estados Unidos, 2012, consultado el 2 de agosto de 2013 en http://www.sonus.net/sites/default/files/The%20ABCs%20of%20Diameter%20Signaling_0.pdf.
- [120] Calhoun P., Loughney J., Guttman E., Zorn G. y Arkko J., “Diameter Base Protocol”, IETF RFC 3588, 2003, consultado el 2 de septiembre de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3588.txt>.
- [121] Ong L., Rytina I., Garcia M., Schwarzbauer H., Coene L., Lin H., Juhasz I., Holdrege M. y Sharp C., “Framework Architecture for Signaling Transport”,

- IETF RFC 2719, 1999, consultado el 28 de julio de 2013 en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2719.txt>.
- [122] Stewart R, (Ed.), “Stream Control Transmission Protocol”, IETF RFC 4960, 2007, consultado el 2 de septiembre de 2013 en <https://tools.ietf.org/html/rfc4960>.
- [123] Monga P., Ahmed I. y Gupta I., “IPv6 – Coexistence and Integration with Next Generation Networks”, en Technical Information - IPv6 Task Force of Cuba, 2004, pp. 1 – 14.
- [124] Nokia, “Transition to IPv6 in 2G and 3G mobile networks”, White Paper, Nokia Networks, Finlandia, 2000, consultado el 4 de agosto de 2013 en http://www.atm.tut.fi/workshop01/whitepaper_IPv6_10832.pdf.
- [125] Ernst T., Castelluccia C. y Lach H., “Extending Mobile-IPv6 with Multicast to Support Mobile Networks in IPv6”, en 1st European Conference on Universal Multiservice Networks, IEEE, Colmar, 2000, pp. 114 – 121.
- [126] Cipagauta E. y Ferro R., “Sistemas Multimedia Basados en Protocolo IP IMS Aplicados a Servicios LTE de 4G”, Redes de Ingeniería, 2012, vol. 3, num. 2, pp. 100 – 108.
- [127] ITU-T, “Framework to support signalling for IPv6-based NGN”, Recommendation ITU-T Y.2054, 2008.
- [128] ITU-T, “Framework of multi-homing in IPv6-based NGN”, Recommendation ITU-T Y.2052, 2008.

- [129] ITU-T, "Functional requirements for IPv6 migration in NGN", Recommendation ITU-T Y.2053, 2008.
- [130] Vilar M., "El futuro en VoIP. H.323 frente a SIP y algunas consideraciones sobre ENUM", Tendencias, BIT, 2004, num. 143, pp. 45 – 47.
- [131] Magnusson J., "SIP Trunking Benefits and Best Practices", White Paper, Ingate Systems, 2007, consultado el 4 de septiembre de 2013 en http://www.ingate.com/files/white_paper_What_is_SIP_Trunking_A.pdf.
- [132] Gaboli I. y Puglia V., "SIP Trunking the Route to the New VoIP Services", en Kaleidoscope: Beyond the Internet? Innovations for future networks and services, IEEE, Pune, 2010, pp. 1 - 8.
- [133] Rojano E., "El presente y futuro de las centralitas PBX tradicionales", Sinologic [Blog], 2013, consultado el 25 de julio de 2013 en <http://www.sinologic.net/blog/2013-07/presente-futuro-centralitas-pbx-tradicionales.html>.
- [134] Esteban L., "Dialogic apuesta por el SIP Trunking con nuevos productos", Callware [Blog], 2010, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://callwarevt.wordpress.com/2010/02/10/dialogic-apuesta-por-el-sip-trunking-con-nuevos-productos/>.
- [135] Network World, "Linksys lanza nuevas ofertas de VoIP para pequeñas empresas", Network World [Blog], 2006, consultado el 28 de julio de 2013 en <http://www.networkworld.es/actualidad/linksys-lanza-nuevas-ofertas-de-voip-para-pequenas-empresas>.

- [136] Rojano E., "Panasonic: Si no puedes contra el enemigo...", Sinologic [Blog], 2010, consultado el 8 de agosto de 2013 en <http://www.sinologic.net/blog/2010-05/panasonic-si-no-puedes-contra-el-enemigo.html>.
- [137] Network World, "Avaya apuesta por SIP como estándar de comunicaciones por Internet", Network World [Blog], 2002, consultado el 28 de julio de 2013 en <http://www.networkworld.es/actualidad/avaya-apuesta-por-sip-como-estandar-de-comunicaciones-por-internet>.
- [138] Network World, "Avaya y Polycom se unen en el desarrollo y comercialización de comunicaciones de voz y vídeo", Network World [Blog], 2010, consultado el 28 de julio de 2013 en <http://www.networkworld.es/actualidad/avaya-y-polycom-se-unen-en-el-desarrollo-y-comercializacion-de-comunicaciones-de-voz-y-video>.
- [139] Rojano E., "Digium lanza su propia gama de teléfonos SIP", Sinologic [Blog], 2012, consultado el 28 de julio de 2013 en <http://www.sinologic.net/blog/2012-02/digium-lanza-su-propia-gama-de-telefonos-sip.html>.
- [140] Network World, "Telefónica refuerza su oferta de comunicaciones unificadas", Network World [Blog], 2013, consultado el 28 de julio de 2013 en <http://www.networkworld.es/convergencia/telefonica-refuerza-su-oferta-de-comunicaciones-unificadas>.

- [141] Díaz A., “VoIP: Breve Análisis de los Servidores SIP”, Voipelia [Blog], 2013, consultado el 22 de julio de 2013 en <http://www.voipelia.com/servidores-sip/>.
- [142] Román A. y Pequeño A., “Softswitch opensource: Kamailio”, White Paper, Quobis Networks, 2010, consultado el 5 de septiembre de 2013 en http://www.quobis.com/files/pdf/PAPER_kamailio.pdf.
- [143] Díaz A., “VoIP: Lanzamiento de la nueva versión Kamailio 4”, Voipelia [Blog], 2013, consultado el 22 de julio de 2013 en <http://www.voipelia.com/kamailio-4-0-0-nueva-version/>.
- [144] Voznak M., Macura L., “Kamailio Syntax Generator and Configuration File Parser”, Proceedings of the 15th WSEAS International Conference on Computers, WSEAS, Wisconsin, Estados Unidos, 2011, pp. 308 – 312.
- [145] Kumar R., Reichert F., Haber A., Aasgard A. y Wu L., “Migration of Enterprise VoIP/SIP Solutions towards IMS”, en 3rd International Conference on Testbeds and Research Infrastructure for the Development of Networks and Communities, IEEE, Lake Buena Vista, Florida, 2007, pp. 1 – 6.
- [146] Mangri M. y Nafornita M., “MEGACO Correlation Method”, Proceedings of the 14th WSEAS International Conference on Communications, WSEAS, Wisconsin, Estados Unidos, 2010, pp. 252– 258.
- [147] Grupo Leafar SAC, “Asterisk”, Lima, Perú, 2010, consultado el 20 de junio de 2013 en <http://www.leafar.com.pe/seccion.asp?sc=24>.

- [148] Montoro P. y Casilari E., "A Comparative Study of VoIP Standards with Asterisk", en Fourth International Conference on Digital Telecommunications, IEEE, Colmar, 2009, pp. 1 - 6.
- [149] Telappliant, "Telecommunications 'the key to success in next decade'", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/383974604.
- [150] Valik D., "Innovation of Communication and Information Technologies", en Microsoft Lync 2013 Unified Communications: From Telephony to Real-time Communication in the Digital Age, Packt, Birmingham, Reino Unido, 2013, pp. 7 - 23.
- [151] Luque M., "Comunicación unificada y VoIP tendrán un importante crecimiento", SOS [Blog], 2012, consultado el 20 de octubre de 2013 en http://www.sos.net.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=512:comunicacion-unificada-y-voip-tendran-un-importante-crecimiento&catid=11:comunicacion-unificada&Itemid=4.
- [152] Telappliant, "VoIP solutions 'best suited to SMEs'", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/445111485.
- [153] Telappliant, "Flexible working 'can increase productivity'", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en

http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/456024924.

- [154] Telappliant, "Could VoIP help older employees stay in their jobs for longer?", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/447033166.
- [155] Telappliant, "Could VoIP help firms prepare for the future?", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/428837848.
- [156] Telappliant, "Santander emphasises commitment to flexible working", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/448964574.
- [157] Telappliant, "VoIP 'is one of top three rising technologies'", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/426022343.
- [158] Telappliant, "Iowa University invests in VoIP solutions", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/454500396.

- [159] Telappliant, “Almost all homes in Europe can access broadband”, Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/452914822.
- [160] Telappliant, “Top three ways to save money with VoIP”, Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/454500395.
- [161] Telappliant, “VoIP is easy to introduce, get running and maintain”, Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/383974603.
- [162] Telappliant, “Mobile ‘is the key to the future of VoIP’”, Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en <http://www.telappliant.com/voip-news/801602660/mobile-is-the-key-to-the-future-of-voip/#.Udm0zjs2bok>.
- [163] Telappliant, “VoIP an option for travelers in 2013”, Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/302508157.
- [164] Luque M., “VoIP móvil desplazará voz tradicional”, SOS [Blog], 2012, consultado el 20 de octubre de 2013 en

http://www.sos.net.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=591:voip-movil-desplazara-voz-tradicional&catid=11:comunicacion-unificada&Itemid=4.

- [165] Barnum T., "MOBILE VOIP USERS WILL EACH 1 BILLION BY 2017?!", VOXOX Blog [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en <http://blog.voxox.com/blog/bid/302293/Mobile-VoIP-Users-Will-Reach-1-Billion-by-2017>.
- [166] Peterson M., "Upcoming Profits for VoIP", Jive [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en <http://jive.com/upcoming-profits-voip>.
- [167] Telappliant, "Business advantages 'available to those who understand VoIP'", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/448964573.
- [168] Telappliant, "VoIP market 'continuing to grow'", Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/399944317.
- [169] Fernández D., "Comunicaciones unificadas, la inversión para 2013", Red de Empresarios Visa, 2013, consultado el 4 de septiembre de 2013 en <http://www.redempresariosvisa.com/IdeasCenter/Article/comunicaciones-unificadas-la-inversion-para-2013>.

- [170] Carpena M., “¿Pueden las Comunicaciones Unificadas ser una solución para la crisis?”, techWEEK, 2009, consultado el 20 de julio de 2013 en <http://www.techweek.es/voip-telefonía/analisis/1005685005401/pueden-comunicaciones-unificadas-solucion-crisis.1.html>.
- [171] Telappliant, “Move to IP telephony “is irreversible””, Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/314626781.
- [172] ITU, “El camino hacia las redes de la próxima generación (NGN)”, en Tendencias en las Reformas de Telecomunicaciones 2007, ITU, Ginebra, Suiza, 2007, pp. 19 – 20.
- [173] CONATEL, “Resolución 491-21-CONATEL-2006”, Consejo Nacional de Telecomunicaciones, Ecuador, 2006, consultado el 20 de julio de 2013 en http://imaginar.org/iicd/index_archivos/TUS9/4_norma_voip.pdf.
- [174] Lyons D. “The Challenge of VoIP to Legacy Federal and State Regulatory Regimes”, Perspectives from FSF Scholars, 2013, vol. 8, num. 9, pp. 1 – 6.
- [175] Telappliant, “Huge VoIP growth coming to India”, Telappliant [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en http://browse.feedreader.com/c/Telappliant_The_IP_Telephony_Company/464499275.

- [176] Peterson M., "The Future of VoIP", Jive [Blog], 2013, consultado el 20 de julio de 2013 en <http://www.jive.com/blog/2013/02/future-voip/>.
- [177] Sagredo A., "Nokia elimina la VoIP de sus nuevos terminales", voip para novatos [Blog], 2008, consultado el 20 de julio de 2013 en <http://www.voipnovatos.es/item/2008/08/nokia-elimina-la-voip-de-sus-nuevos-terminales/catid/27>.
- [178] Vaishnav C., "Voice over Internet Protocol (VoIP): The Dynamics of Technology and Regulation", Tesis de Master, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, Estados Unidos, 2006.
- [179] ITU, "El camino hacia las redes de la próxima generación (NGN)", en Tendencias en las Reformas de Telecomunicaciones 2007, ITU, Ginebra, Suiza, 2007, pp. 5 – 7.
- [180] Pérez X., "Hacia Redes All-IP: Convergencia de Redes IP e Inalámbricas", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, NEC Network Laboratories, Cataluña, España, 2005.
- [181] Radmand P., Singh J., Domingo M., Arnedo J. y Talevski A., "The Impact of Security on VoIP Call Quality", Journal of Mobile Multimedia, 2011, vol. 7, num. 1, pp. 113 – 125.
- [182] Kumar R. y Chauhan S., "A Survey and Analysis of Media Keying Techniques in Session Initiation Protocol (SIP)", International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC), 2013, vol.2, num. 5, pp. 289-301.

- [183] Rakotondraina T., Ravonimanantsoa N. y Randriamitantsoa A., “Contribution to Securing Communications on VoIP”, International Journal of Computer Science and Network (IJCSN), 2013, vol. 2, num. 3, pp. 76 – 79.
- [184] ITU, “Question 6/11 – Protocol procedures relating to specific services over IPv6”, consultado el 28 de junio de 2013 en <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/11/Pages/q6.aspx>.
- [185] Salcedo O., López D. y Ríos A., “Desempeño de la calidad del servicio (QoS) sobre IPv6”, Revista Tecnura, 2011, vol. 15, num. 28, pp. 32 - 41.
- [186] Salcedo O., López D. y Castellanos L., “IPv6 sobre ATM”, Revista Tecnura, 2011, vol. 15, num. 29, pp. 120- 127.
- [187] Salcedo O., López D. y Gamboa F., “Migración de redes de voz IPv4 a IPv6”, Revista Tecnura, 2012, vol. 16, num. 31, pp. 76- 87.
- [188] Benites R., Quiroz J. y Villafani R., “Modelo Sip Seguro para una Comunicación extremo a extremo sobre IPv6”, ECIPERU, 2011, vol. 8, num. 2, pp. 63 – 68.
- [189] ITU, “ITU-T Study Group 13 – Future networks including cloud computing, mobile and next-generation networks”, consultado el 28 de junio de 2013 en <http://www.itu.int/en/ITU-T/about/groups/Pages/sg13.aspx>.
- [190] Lee C., “Migration scenarios from legacy networks to NGN in developing countries”, Technical Paper, ITU-T, 2013, consultado el 28 de junio de

2013 en http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-NGN-2013-PDF-E.pdf.

- [191] Lee C., “How to increase QoS/QoE of IP-based platform(s) to regionally agreed standards”, Technical Paper, ITU-T, 2013, consultado el 28 de junio de 2013 en http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-QOS-2013-PDF-E.pdf.
- [192] Lakhtaria K., “Enhancing QoS and QoE in IMS enabled Next Generation Networks”, International Journal on Applications of Graph Theory in Wireless Ad Hoc Networks and Sensor Networks (GRAPH-HOC), 2010, vol. 2, num. 2, pp. 61 – 71.
- [193] ITU-T, “Guidelines for the use of traffic management mechanisms in support of IPTV services”, Recommendation ITU-T Y.1920, 2012.
- [194] Lee G., Park J., Kong N., Crespi N. y Chong I., “The Internet of Things – Concept and Problem Statement”, IETF, 2012, consultado el 28 de octubre de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/draft-lee-iot-problem-statement-05>.
- [195] Nadeu T. y Pan P., (Eds.), “Framework for Software Defined Networks”, IETF, 2011, consultado el 28 de octubre de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/draft-nadeau-sdn-framework-01>.
- [196] El Brak S., Bouhorma M., El Brak M. y Bohdhir A., “Speech Quality Evaluation Based Codec for VoIP over 802.11p”, International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), 2013, vol. 5, num. 2, pp. 59 – 69.

- [197] ITU, "Question 1/13 – Service scenarios, deployment models and migration issues based on convergence services", consultado el 28 de junio de 2013 en <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/13/Pages/q1.aspx>.
- [198] Ba A., Ouya S. y Farssi S., "Improving Traffic Performance on IMS Network", International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET), 2013, vol. 6, num.2, pp. 593 – 600.
- [199] Du D., Liu J., Li H. y Peng Z., "Research of SIP Compression Based on SigComp", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Maxwell Scientific Organization, 2013, pp. 5320 – 5324.
- [200] ITU, "Question 3/12 – Speech transmission characteristics of communication terminals for fixed circuit-switched, mobile and packet-switched (IP) networks", consultado el 28 de junio de 2013 en <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/12/Pages/q3.aspx>.
- [201] ITU, "Question 5/13 – Applying IMS and IMT in developing country mobile telecom networks", consultado el 28 de junio de 2013 en <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/13/Pages/q5.aspx>.
- [202] Pérez F., "Redes Móviles Terrestres: 4G", Escuela Técnica Superior de Ingeniería-ICAI, Universidad Comillas, consultado el 28 de octubre de 2013 en <http://www.tierradelazaro.com/cripto/4G.pdf>.

- [203] Mohamed M., Zaki F. y Mosbah R., "Improving Quality of VoIP over WiMAX", International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 2012, vol. 9, num. 3, pp. 85 – 91.
- [204] Mohamed M., Zaki F. y Elfeki A., "Performance Analysis of VoIP Codecs over WiMAX Networks", International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 2012, vol. 9, num. 6, pp. 253 – 259.
- [205] Nokia, Siemens, "From Voice over IP to Voice over LTE", White Paper, Nokia Siemens Networks, Finlandia, 2013, consultado el 5 de septiembre de 2013 en https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fnsn.com%2Fsystem%2Ffiles%2Fdocument%2Fnokia_siemens_networks_smarts_lab_volte_white_paper_05072013_online.pdf&ei=FuKaUreXDc6jkQfyr4HoDw&usg=AFQjCNEo9tSPcAVEBCD1F3TUZF8aLk2A&bvm=bv.57155469,d.eW0.
- [206] "3G LTE and SIP Capability to Dominate Mobile Markets", cellular-news, 2007, consultado el 5 de abril de 2013 en <http://www.3g.co.uk/PR/Sept2007/5105.htm>.
- [207] Casey B., "VoIP sobre 4G: El Futuro en las comunicaciones VoIP", Techopedia, 2012, consultado el 12 de junio de 2013 en <http://www.techopedia.com/2/28452/networks/voip/voip-over-4g-the-future-in-voip-communications>.

- [208] “Almost 1.2 Billion SIP Users by 2012”, cellular-news, 2007, consultado el 5 de abril de 2013 en <http://www.cellular-news.com/story/24726.php>.
- [209] VOICE and SMS OVER LTE, “Dreaming over voice over LTE”, VOICE and SMS OVER LTE [Blog], 2012, consultado el 28 de junio de 2013 en <http://voiceoverlte.typepad.com/voice-and-sms-over-lte/2012/05/dreaming-over-voice-over-lte.html>.
- [210] SIPsocial.net, “SIP 4G VoIP: ALL IP NETWORKS”, consultado el 28 de junio de 2013 en <http://www.sipsocial.net/sipsocial-apps/sip-4g-voip>.
- [211] Acme Packet, “Scaling Diameter in LTE and IMS”, White Paper, Acme Packet, Inc., Bedford, Massachusetts, Estados Unidos, 2012, consultado el 4 de junio de 2013 en http://ws.lteconference.com/wp-content/uploads/1120APKT_WP_ScalingDiameter_020112.pdf.
- [212] Diaz J., “Teléfonos en la nube con VoIP”, Revista Cloud Computing, 2013, consultado el 4 de junio de 2013 en <http://www.revistacloudcomputing.com/2013/06/telefonos-en-la-nube-con-voip/>.
- [213] ITU, “Question 14/11 – Cloud interoperability testing”, consultado el 28 de junio de 2013 en <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/11/Pages/q14.aspx>.
- [214] Varela M., “¿Voz en la nube? Sí, pero integrada”, Sinologic [Blog], 2012, consultado el 25 de julio de 2013 en <http://www.sinologic.net/blog/2012-08/voz-en-la-nube-si-pero-integrada.html>.

- [215] Jeff, "WebRTC – Is This the Future Of VoIP", Voipdiy [Blog], 2013, consultado el 25 de julio de 2013 en <http://blog.voipdiy.com/2013/06/webrtc-is-this-future-of-voip.html>.
- [216] Estrella P., "¿Qué es WebRTC?", Mundo Contact, 2013, consultado el 2 de noviembre de 2013 en <http://mundocontact.com/que-es-webrtc/>.
- [217] Fette I. y Melnikov A., "The WebSocket Protocol", IETF RFC 6455, 2011, consultado el 2 de noviembre de 2013 en <http://tools.ietf.org/html/rfc6455>.
- [218] Daly C., "Why SIP is the Future of Unified Communications and What to Look For in your Platform", TelecomReseller, 2013, consultado el 4 de abril de 2013 en <http://www.telecomreseller.com/2013/03/04/why-sip-is-the-future-of-unified-communications-and-what-to-look-for-in-your-platform/>.