



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

Análisis y Caracterización de Tráfico VoIP bajo un Ambiente Inalámbrico

**Trabajo de Tesis
para obtener el grado de**

Ingeniero en Redes

PRESENTA

Joaquín Inés López Reyes

Director de Tesis

Dr. Homero Toral Cruz

Asesores

MSI. Rubén Enrique González Elixavide

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

Chetumal, Quintana Roo, México, Diciembre de 2012



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO EN REDES

Comité de Trabajo de Tesis

Director:

Dr. Homero Toral Cruz

Asesor:

MSI. Rubén Enrique González Elixavide

Asesor:

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

Chetumal, Quintana Roo, México, Diciembre de 2012.

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a mi madre, Esther Reyes Cocom por haberme apoyado tanto durante mis estudios, por haberme educado como una persona de bien y sobre todo por haber confiado siempre en mí.

También se la dedico a mis hermanas, Cándida Beatriz López Reyes y Reyna Elizabeth López Reyes, y a mi hermano Miguel Ángel López Reyes, a todos ellos por haberme apoyado durante mis estudios, tanto económicamente como emocionalmente.

Se la dedico a mis profesores, que siempre me apoyaron y aconsejaron, que me enseñaron todo lo que pudieron haberme enseñado y que me formaron como un buen profesionalista.

Se la dedico a mis amigos que siempre estuvieron ahí cuando los necesitaba, que me apoyaron y me ayudaron y sobre todo que me motivaron a seguir adelante y no rendirse, hasta lograr ser lo que soy.

Agradecimientos

Quiero darle las gracias a mi madre Esther Reyes Cocom, porque gracias a ella estoy donde estoy ahora y soy lo que soy ahora, siempre se ha preocupado por mí y por mi estudio, gracias por confiar en mí, por seguir apoyando en las buenas y en las malas a pesar de no ser alguien perfecto gracias a ella hoy puedo decir que soy casi perfecto, me ha educado como una persona de bien, responsable, honesta y comprometida. Muchas gracias por esto y por todo lo que me has dado.

Agradezco a mis hermanas, Cándida Beatriz López Reyes y Reyna Elizabeth López Reyes, y a mi hermano Miguel Ángel López Reyes, porque siempre me apoyaron en todas las formas posibles, nunca me han dejado solo siempre han estado conmigo los necesite o no, gracias por dedicarme tanto tiempo ayudándome y enseñándome, gracias a ustedes hoy soy una mejor persona y seguiré mejorando mientras ustedes sigan confiando en mí. Gracias por todo lo que me han dado.

También le doy las gracias a mis profesores, al Ingeniero Rubén Enrique González Elixavide por enseñarme todo lo que él sabe en Redes, por aconsejarme, por confiar en mí, por apoyarme cuando lo necesitaba e incluso cuando no. A mi tutora la MTI. Laura Yesica Dávalos Castilla, que siempre confió en mí, que me apoyo y me enseñó mucho durante mis estudios.

Y sobre todo a mi tutor de tesis, el Dr. Homero Toral Cruz, gracias a él, pude terminar esta tesis, gracias a que él me ha dedicado todo el tiempo posible, que a paso mucho tiempo enseñándome, aconsejándome y corrigiéndome, gracias por las noches de desvelo que me ha dedicado, por los eventos que tuvo que cancelar por ayudarme con mi tesis, gracias por estar siempre al pendiente de mí y de mi proyecto, por confiar en mi todo este tiempo, gracias por todo esto y por muchas cosas más.

Por ultimo quiero agradecer a todos los profesores y profesoras que me impartieron clases aquí en la UQROO, porque de alguna forma han dejado su huella en mí, ya sea por el conocimiento que me han trasmitido o por los consejos que algunas ves me dieron, por todo lo que me enseñaron ya que gracias a ellos hoy soy un buen profesionista, todo un Ingeniero en Redes, bien formado y con todos los conocimientos necesarios para sobresalir en la sociedad.

Gracias a todos!

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ABREVIATURAS	V
RESUMEN	X
CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 <i>Objetivos General:</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	4
REFERENCIAS.....	6
CAPÍTULO 2 - REDES DE TELECOMUNICACIONES	7
2.1 CLASIFICACIÓN POR TECNOLOGÍA DE CONMUTACIÓN	7
2.1.1 <i>Conmutación por Circuitos</i>	7
2.1.2 <i>Conmutación por Paquetes</i>	9
2.2 CLASIFICACIÓN POR MEDIO DE TRANSMISIÓN	11
2.2.1 <i>Wi-Fi</i>	11
Arquitectura	11
Capa física.....	12
Capa de enlace de datos.....	12
Estándar 802.11b	14
Estándar 802.11a	15
Estándar 802.11g	16
Estándar 802.11n	16
Tecnología MIMO	18
2.2.2 <i>WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)</i>	21
2.3 REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN).....	24
REFERENCIAS.....	26
CAPÍTULO 3 - TRANSMISIÓN DE VOZ SOBRE REDES DE DATOS	27
3.1 VOZ SOBRE EL PROTOCOLO DE INTERNET	27
3.2 CODIFICACIÓN DE LA VOZ	28
3.2.1 <i>CODECs de Banda Estrecha</i>	29
3.2.2 <i>CODEC de Banda Ancha</i>	33
3.2.3 <i>Códec Multibanda</i>	35
3.3 PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN	38
3.3.1 <i>Protocolo H.323</i>	40
Arquitectura de Red H.323	41
Servicios Suplementarios	43
Estados de la llamada.	43
3.3.2 <i>Protocolo SIP</i>	44
Arquitectura de Red SIP	46

Servicios Suplementarios	47
Estados de la llamada	47
REFERENCIAS.....	49
CAPÍTULO 4 - CALIDAD DE SERVICIO EN VOIP	51
4.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO	51
4.1.1 Retardo.....	51
4.1.2 Jiiter.....	52
4.1.3 Pérdida de Paquetes.....	54
Umbral de los Parámetros de Calidad de Servicio.....	56
4.2 MECANISMOS DE QoS.....	57
4.2.1 Servicios Integrados (IntServ).....	57
4.2.2 Servicios Diferenciados (DiffServ).....	61
4.3 EVALUACIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO	61
4.3.1 Evaluaciones Subjetivas	61
MOS	61
4.3.2 Evaluaciones Objetivas	62
PSQM.....	63
PAMS.....	63
PESQ.....	63
Modelo E.....	63
P.563.....	65
REFERENCIAS.....	67
CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE QOS	68
5.1 ESCENARIOS DE MEDICIÓN	68
5.1.1 Características de los Equipos	70
5.1.2 Configuración de los Equipos.....	75
Antenas Ubiquiti	75
Routers Belkin	76
Tarjetas de Red USB Linksys.....	77
5.1.3 Software Utilizado.....	77
5.1.4 Conjunto de Trazas Colectadas	78
REFERENCIAS.....	87
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO VOIP EN UN ESCENARIO INALÁMBRICO	88
COMO ANÁLISIS FINAL, SE REALIZÓ LA COMPARACIÓN DE OWD Y PLR, PARA LOS DOS ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN UTILIZADOS (G.711 Y GSM). LAS FIGURAS 37 Y 38 MUESTRAN ESTE ESTUDIO.	98
REFERENCIAS.....	100
CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES.....	101

Índice de Figuras

Figura 1 Conmutación por Circuitos [2]	8
Figura 2 Conmutación por Paquetes [2]	10
Figura 3 Arquitectura Básica 802.11 [4]	12
Figura 4 Diagrama MIMO de un Sistema Básico de 2 Antenas y 2 Flujos SDM [9]	19
Figura 5 Redes de Próxima Generación	25
Figura 6 Diagrama Básico de un Sistema VoIP [1]	27
Figura 7 Sistema Básico de H.323 [14]	41
Figura 8 Principales Elementos de H.323 [1]	43
Figura 9 Sistema Básico SIP [14]	45
Figura 10 Principales Elementos de SIP [1]	47
Figura 11 Vectores de Pérdida de Paquetes	56
Figura 12 Protocolo RSVP	60
Figura 13 Escala Comparativa PSQM, MOS, PAMS, PESQ, E-Model [1]	66
Figura 14 Escenario de Medición	69
Figura 15 Opciones de Captura del Wireshark	81
Figura 16 Decodificado de Paquetes UDP	82
Figura 17 Seleccionar RTP	83
Figura 18 Flujos RTP	83
Figura 19 Mostrar Flujos RTP por Llamada	84
Figura 20 Flujos RTP por Llamada	84
Figura 21 Estadísticas de Paquetes de un Flujo RTP	85
Figura 22 Ejemplo de un Archivo .csv	86
Figura 23 Archivos Extraídos en Formato .txt	86
Figura 24 Valores Promedios de MOS por Hora: CT1, CT2 y CT3	88
Figura 25 Valores Promedios de PLR por Hora: CT1, CT2 y CT3	89
Figura 26 Valores Promedios de OWD por Hora: CT1, CT2 y CT3	89
Figura 27 Relación entre MOS y PLR: CT1-Flujo 1	91
Figura 28 Relación entre MOS y OWD: CT1-Flujo 1	91
Figura 29 Relación entre PLR y OWD: CT1-Flujo 1	92
Figura 30 Relación entre MOS, PLR y OWD: CT8-Flujo 1-10MHz	93
Figura 31 Relación entre Jitter y PLR	94
Figura 32 Vector de Pérdida: (CT8, 10:00hrs)	96
Figura 33 Jitter: (CT8, 10:00hrs)	96
Figura 34 Vector de Pérdida: (CT8, 11:00hrs)	97
Figura 35 Jitter: (CT8, 11:00hrs)	97
Figura 36 Jitter: (CT8, 11:00hrs) - Acercamiento de Figura 35	98
Figura 37 Comparación de OWD entre G.711 y GSM: CT1 y CT4	99
Figura 37 Comparación de PLR entre G.711 y GSM: CT1 y CT4	99

Índice de Tablas

Tabla 1 Estándares del Grupo 802.11 [6].....	13
Tabla 2 Principales Componentes del Borrador 802.11n [8]	18
Tabla 3 Comparativa de Velocidades de Transmisión de los Estándares 802.11 [9].....	20
Tabla 4 Comparativa de Características de los Estándares 802.11 [8].....	21
Tabla 5 Comparativa de WiMAX [10]	23
Tabla 6 Comparativa de los Principales CODECs de Voz [1]	36
Tabla 7 Umbrales del Retardo [1].....	56
Tabla 8 Umbrales del Jitter [3]	56
Tabla 9 Umbrales de la Pérdida de Paquetes [3]	56
Tabla 10 Niveles de Calidad en la Escala MOS [6]	62
Tabla 11 Rango de Valores del Modelo E.....	65
Tabla 12 Configuraciones de Llamadas de Prueba.....	68
Tabla 13 Características Comunes en los Equipos Utilizados.....	73
Tabla 14 Configuración de Tarjetas USB Linksys	77
Tabla 15 Software utilizado en el Proyecto	77
Tabla 16 Configuración de Terminales.....	79
Tabla 17 Descripción de los Conjuntos de Trazas Colectados.....	79

Abreviaturas

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACELP	Algebraic Code Excited Linear Prediction
ACK	Acknowledge
ADLS	Asymmetric Digital Subscriber Line
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
AMR	Adaptive Multi-Rate
AMR-WB	Adaptive Multi-Rate Wideband
AMR-WB+	Adaptive Multi-Rate Wideband Plus
AP	Acces Point
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BSS	Basic Service Set
BWA	Brandband Wireless Access
CELP	Code Excited Linear Prediction
CNG	Confotable Noise Generator
CS-ACELP	Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction
DS	Distribution System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FEC	Foward Error Correction
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GIPS	Global IP Sound
GK	Gatekeeper

GSM	Global System for Mobile Communications
HR-DSSS	High Rate Direct Sequence Spread Spectrum
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IAPP	Inter-access Point Protocol
IAX	Inter-Asterisk eXchange
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
iLBC	Internet Low Bitrate Codec
IP	Internet Protocol
iSAC	internet Speech Audio Codec
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial Scientific Medical
ITU-T	International Telecommunication Union
Kbps	Kilobytes per Second
LAN	Local Area Network
LD-CELP	Low Delay Codec Excited Linear Prediction
LLC	Logical Link Control
LPC	Line Predictive Coding
MAC	Medium Access Control
Mbps	Megabytes per Second
MC	Multipoint Controller
MCUs	Multipoint Unid
MeGaCo	Media Gateway Control Protocolo
MELPe	Mixed-Excitation Linear Predictive
MGCP	Media Gateway Control Protocolo
MIMO	Multiple Input-Multiple Output

MLT	Modulated Lapped Transform
MMUSIC WG	Multiparty Multimedia Session Control Working Group
MOS	Mean Opinion Score
MP	Multipoint Procesor
MP-MLQ	Multi Pulse-Maximum Likelihood Quantization
NGN	Next Generation Network
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconeción
OTA	Over-The-Air
OWD	One Way Delay
PAMS	Perceptual Analysis Measurement System
PCM	Pulse Code Modulation
PDA	Personal Digital Assistant
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PHY	Physical Layer
PLR	Packet Loss Rate
P-MP	Point-to-Multipoint
P-P	Point-to-Point
PSQM	Perceptual Speech Quality Measure
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying
RAS	Registration, Admition, State
RFC	Request For Comments
RPE-LTP	Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction-

	Linear Predictive
RSVP	Reservation Protocol
RTCP	Real-time Transport Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SAP	Service Access Point
SB-ADPCM	Sub-Band-Adaptive Differential Pulse Code Modulation
SCPs	Service Control Points
SDM	Spatial Division Multiplexing
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SS7	Signaling System No 7
SSPs	Service Switching Points
STPs	Signal Transfer Points
TCP	Transmission Control Protocol
TIA	Telecommunications Industry Association
TSNFC	Two-Stage Noise Feedback Coding
UA	User Agents
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UDP	User Datagram Protocol
VAD	Voice Activity Detection
VBR	Variable Bitrate
VER	Bit Error Rate
VoIP	Voice over IP
VSELP	Vector-Sum Excited Linear Prediction

WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPP	Wireless Performance Prediction

Resumen

Internet se ha convertido en una de las redes de telecomunicaciones más importantes, actualmente es la red convergente que ha motivado a los desarrolladores, a diseñar nuevas e innovadoras aplicaciones con grandes requerimientos de ancho de banda y bajo retardo. Una de las aplicaciones que ha sobresalido es la transmisión de voz sobre el protocolo de Internet, la cual, permite al usuario utilizar la red IP como canal de comunicación para la transmisión de paquetes de voz. Por otro lado, una de las tecnologías de transmisión más importantes en las redes de telecomunicaciones es la tecnología inalámbrica, la cual ha evolucionado de manera exponencial a tal grado que la mayoría de los nuevos dispositivos periféricos y terminales de usuarios (computadoras, laptops, tabletas, Smartphone, impresoras, etc.) soportan esta tecnología en sus múltiples versiones (Wi-Fi, WiMax, etc.). La combinación de estas tecnologías ha hecho posible transmitir flujos de voz a través de redes WLAN que no necesariamente garanticen calidad de servicio.

La calidad de servicio es un factor importante a considerar en el diseño e implementación de una red de servicios convergentes. Debido a que en el futuro se espera la migración de las comunicaciones de voz hacia la red IP, las expectativas por mejorar el desempeño de los sistemas VoIP han aumentado considerablemente, por lo cual es esencial conocer el comportamiento de los factores que afectan el desempeño y funcionamiento de la misma, con el objetivo de definir mejores modalidades de prestación de servicios, traducidas en aceptable nivel de QoS.

En esta tesis se realizó, medición, análisis y caracterización de los principales parámetros de QoS de tráfico de voz sobre IP en un escenario de dos redes de área local inalámbricas "WLAN". Esto se realizó de la siguiente forma:

- Se montó un escenario de pruebas, en donde se configuraron 2 zonas H.323, cada una en una red WLAN, interconectadas por dos antenas MIMO.

- Se generó tráfico VoIP, mediante un software (SJPhone).
- Se capturo el tráfico generado utilizando un analizador de protocolos (Wireshark).
- Se obtuvieron datos estadísticos del tráfico capturado.
- Se analizaron los datos estadísticos mediante el uso de graficas comparativas de los diferentes flujos de las llamadas realizadas.
- Se obtuvo una evaluación de la calidad de las llamadas realizadas.

Capítulo 1 – Introducción

1.1 Antecedentes

El incremento en el número de usuarios con acceso a Internet, el despegue de la banda ancha, la aparición de múltiples protocolos de señalización de voz sobre redes de conmutación de paquetes y la evolución de nuevas tecnología de transmisión (alámbricas e inalámbricas), han incrementado la posibilidad de que la Voz sobre IP (VoIP) comience a verse como una realidad. En los últimos años la aceptación del uso de Internet y la banda ancha ha crecido considerablemente.

El último estudio realizado por “Pew Internet & American Life Project” (2010) [1], revela que el 74% de los adultos utilizan Internet y aproximadamente el 60% de los adultos americanos cuentan con conexiones de banda ancha en casa.

En este contexto, se ha agilizándose la demanda de nuevos servicios convergentes, y en consecuencia la aparición de un considerable porcentaje de tráfico VoIP dentro del tráfico de voz internacional.

En los últimos 20 años, el tráfico de voz internacional ha crecido a una tasa acumulada de poco más de 14% anual según estudios realizados por “TeleGeography (2010)” [2].

También es muy importante mencionar que hoy en día una de las tecnologías de transmisión más importantes en las redes de telecomunicaciones es la tecnología inalámbrica, la cual ha evolucionado de manera exponencial y la mayoría de los nuevos dispositivos periféricos y terminales de usuarios (computadoras, laptops, tabletas, Smartphone, impresoras, etc.) soportan esta tecnología en sus múltiples versiones (Wi-Fi, WiMax, etc.).

Por otro lado, el surgimiento de múltiples protocolos de señalización de llamada, para la transmisión de voz sobre las redes de paquetes ha apoyado considerablemente esta convergencia. H.323 [3] y el Protocolo de Inicio de Sesión, SIP [4] son los más importantes protocolos de señalización presentes en las

principales implementaciones de esta tecnología. Cabe mencionar que estos protocolos no proveen garantía de calidad de servicio (QoS).

QoS es un factor importante a considerar en el diseño e implementación de una red de servicios convergentes. En la red convergente (Internet) los recursos son compartidos y proporciona un servicio de “mejor esfuerzo”; por consiguiente, la calidad de servicio no está garantizada. Las opciones de QoS para Internet han evolucionado rápidamente, pero en la actualidad se encuentran todavía en desarrollo, es por eso que en muchos países aún no se explota al máximo el uso de esta nueva tecnología que promete reducir los costos en el servicio de telefonía y muchas ventajas más.

Por tal motivo muchos investigadores se han centrado en el estudio de las principales métricas de desempeño que determinan la calidad de servicio en aplicaciones multimedia, tales como VoIP. Los principales objetivos de estos estudios son: (1) realizar un análisis y evaluación de desempeño de una red IP [5]; (2) proveer una completa caracterización del comportamiento del tráfico en redes IP [6-7]; (3) implementar modelos representativos del tráfico IP [8] [5]; e (4) implementar mecanismos de QoS [9].

1.2 Planteamiento del problema

El Internet de nuestros días proporciona un servicio llamado de “mejor esfuerzo” (“best-effort”) y no garantiza QoS a aplicaciones multimedia en tiempo real, tal como VoIP.

En los últimos años VoIP ha llegado a ser una de las aplicaciones más atractivas sobre Internet que demanda estrictamente recursos y servicios de red para proporcionar un nivel de QoS aceptable por los usuarios. La QoS de aplicaciones VoIP depende de varios parámetros, tales como, pérdida de paquetes, retardo extremo a extremo, jitter, ancho de banda, tipo de CODEC (COder-DECoder), tamaño de paquete, tamaño de jitter buffer, entre otros. Sin embargo, los

parámetros que tienen mayor impacto son: retardo extremo a extremo, jitter y pérdida de paquete.

Debido a que en el futuro se espera la migración de las comunicaciones de voz a Internet, las expectativas por mejorar el desempeño de los sistemas VoIP han aumentado considerablemente, por lo cual es esencial conocer el comportamiento de los factores que afectan el desempeño y funcionamiento de la misma, con el objetivo de definir mejores modalidades de prestación de servicios, traducidas en aceptable nivel de QoS.

En esta tesis se realizará, análisis y caracterización de tráfico VoIP en un escenario de dos redes de área local inalámbricas "WLAN" (WLAN "A" y WLAN "B") interconectadas mediante un enlace inalámbrico punto a punto. Las pruebas a efectuar consistirán en el establecimiento de llamadas de prueba entre un conjunto de terminales (terminales A_1 , A_2 y A_3 localizado en Red WLAN "A" y terminales B_1 , B_2 y B_3 localizado en Red WLAN "B").

Para establecer el conjunto de llamadas de prueba se utilizará una aplicación VoIP (Softphone). Dentro del conjunto de llamadas a establecer se utilizarán diferentes configuraciones de algunos parámetros, tales como tipo de CODEC y diferentes anchos de banda, con el objetivo de analizar y caracterizar el comportamiento de los parámetros de QoS, bajo diferentes configuraciones y un escenario inalámbrico.

Paralelamente al establecimiento de llamadas se efectuará la captura de patrones de tráfico (trazas de pérdida de paquetes, trazas de jitter de arriba y trazas de retardo extremo a extremo) mediante un analizador de protocolos y finalmente se realizará el procesamiento de las trazas capturadas para lograr el análisis y la caracterización propuesta en la presente tesis.

1.3 Justificación

Son muchos los beneficios que proporciona el uso de VoIP sobre la red de datos inalámbrica, los más importantes se mencionan a continuación:

- Convergencia de las redes de voz y datos en una sola red.
- Servicios más atractivos de comunicación.
- Reducción de los costos de comunicaciones.
- Uso más eficiente de la infraestructura de datos.
- Reducción de costos por concepto de gestión y operación de infraestructura.
- Movilidad generalizada.

Partiendo de los antecedentes y beneficios antes mencionados, surge el interés de realizar medición y análisis de los principales parámetros de QoS en una red VoIP inalámbrica, para lograr una apropiada caracterización de los mismos, que sirvan de referencia a otros investigadores para llevar a cabo la implementación de mecanismos de QoS en redes IP inalámbricas y el diseño adecuado de aplicaciones VoIP.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos General:

Realizar el análisis y caracterización de los principales parámetros de calidad de servicio (perdida de paquetes, retardo extremo a extremo y jitter de arribo) de tráfico VoIP mediante mediciones de red en un escenario inalámbrico.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Estudiar los protocolos que intervienen en el proceso de comunicación de voz sobre el protocolo de Internet.
- Implementar un escenario inalámbrico VoIP, representativo de medición.

- Generar tráfico VoIP real, mediante una aplicación en software, sobre una red IP inalámbrica.
- Capturar el tráfico VoIP generado, mediante un analizador de protocolos (Wireshark).
- Realizar el procesamiento de los patrones de tráfico.
- Analizar los principales parámetros de calidad de servicio en una red VoIP inalámbrica.
- Evaluar la calidad de servicio mediante el factor R y el Modelo E.

Referencias

[1] Pew Internet & American Life Project (2010). <http://www.pewinternet.org/Static-Pages/Trend-Data/Home-Broadband-Adoption.aspx>

[2] TeleGeography (2010). <http://www.telegeography.com/product-info/tg/index.php>

[3] ITU-T Recommendation H.323, "Packet-Based Multimedia Communications Systems", International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (2007).

[4] J. Rosenberg, et al, "SIP: Session Initiation Protocol (RFC 3261)", Internet Engineering Task Force (2002).

[5] H. Toral, D. Torres, C. Hernandez, L. Estrada, "Self-Similarity, Packet Loss, Jitter, and Packet Size: Empirical Relationships for VoIP". 18th International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP), Cholula, Puebla, March 2008, pp. 11-16.

[6] H. Toral, J. Arguez, L. Estrada, y D. Torres, "An Introduction to VoIP: End-to-End Elements and QoS Parameters", VoIP Technologies. Editor: Dr. Shigeru Kashiwara. Ed. INTECH (2010), ISBN: 978-953-307-549-5.

[7] H. Toral, D. Torres, y L. Estrada, "Analysis and Modeling of Qos Parameters in VoIP Traffic", Advancements in Distributed Computing and Internet Technologies: Trends and Issues. Editor(s): Al-Sakib Khan Pathan, MukaddimPathan, y Hae Young Lee. Ed. IGI Global (2010). ISBN: 978-1-61350-110-8.

[8] H. Toral, D. Torres y L. Estrada, "Simulation and Modeling of Packet Loss on VoIP Traffic: A Power-Law Model", WSEAS Transactions on Communications, Issue 10, Vol. 8, (2009), pp. 1053-1063.

[9] J. Polk, et al, "Quality of Service (QoS) Mechanism Selection in the Session Description Protocol (SDP)", Internet Engineering Task Force (2009).

Capítulo 2 - Redes de Telecomunicaciones

La función básica de una red es conectar usuario entre sí a través de sus terminales y conectar usuarios a servidores. Esto lo hace estableciendo conexiones entre 2 o más terminales usando sus direcciones de origen y destino.

Las terminales conectadas no son únicamente “usuarios fijos”, sino también “usuarios móviles”, tal es el caso de Smartphone, PDA y otros dispositivos portátiles [1].

2.1 Clasificación por Tecnología de Conmutación

Basadas en su tecnología de conmutación existen dos tipos de redes: Conmutada por Circuitos y Conmutada por paquetes.

En una red de conmutación de circuito, por ejemplo la red telefónica pública conmutada (PSTN), se usa el término “conexión”, para indicar el establecimiento de una ruta física. En una red de conmutación de paquetes, por ejemplo el Internet, se usa el término “sesión”, el cual hace referencia a una conexión lógica [1].

2.1.1 Conmutación por Circuitos

Este tipo de redes realiza las conexiones mediante un circuito físico dedicado entre 2 estaciones (ver Figura 1).

Consta de tres fases para establecer la comunicación:

- Establecimiento del Circuito
- Transferencia de datos
- Desconexión del circuito

Para poder establecer una conexión en una red conmutada por circuitos debe haber capacidad de conmutación y de canal, y debe de tener la inteligencia para poder establecer una ruta.

Sin embargo este tipo de redes se considera ineficiente para el uso de aplicaciones por lo siguiente:

- La capacidad del canal es dedicada todo el tiempo.
- Si no hay datos se desperdicia la capacidad del canal.

Por otra parte, el establecimiento de la conexión o “Set Up” toma un tiempo considerable en realizarse, aunque una vez establecida la conexión, la transferencia es transparente para el usuario. Es que este tipo de conmutación fue desarrollada con el fin de transmitir el tráfico de voz (servicio telefónico) [2].

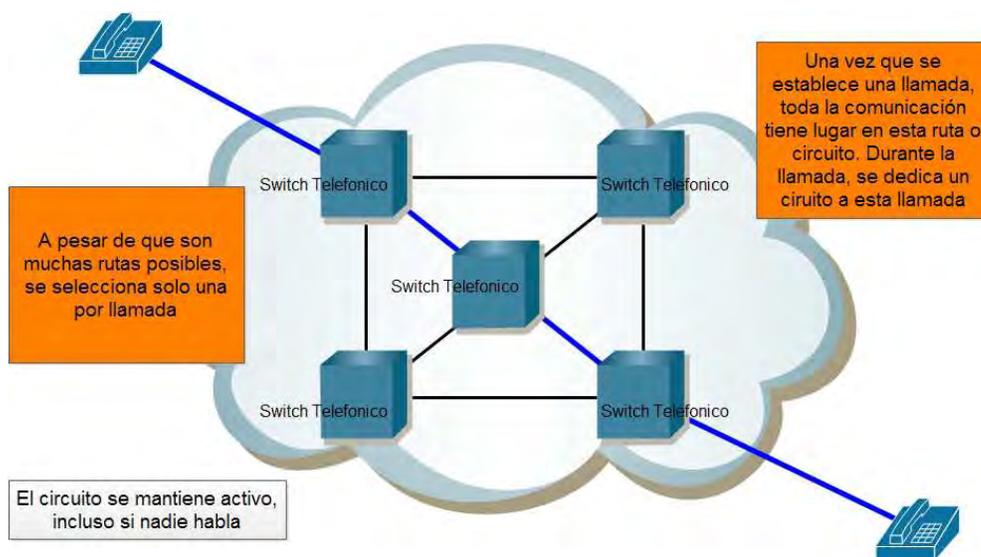


Figura 1 Conmutación por Circuitos [2]

Cuando una persona realiza una llamada utilizando un teléfono tradicional, la llamada primero pasa por un proceso de configuración en el cual se identifican todos los elementos de conmutación telefónicos entre la persona y el teléfono al que está llamando. Se crea una ruta temporal o circuito a través de las distintas ubicaciones de conmutación a utilizar durante la duración de la llamada telefónica. Si falla algún enlace o dispositivo que participa en el circuito, la llamada pierde.

Para volver a conectarse, se debe realizar una nueva llamada y crear un nuevo circuito entre el teléfono de origen y el de destino.

En este tipo de red, una vez establecido el circuito, aunque no exista comunicación entre las personas en ningún extremo de la llamada, el circuito permanece conectado y los recursos se reservan hasta que una de las partes finaliza la llamada.

Debido a que existe una determinada capacidad para crear nuevos circuitos, es posible que a veces reciba un mensaje de que todos los circuitos están ocupados y no pueda realizar la llamada. El elevado costo que implica crear muchas rutas alternativas con capacidad suficiente para admitir un gran número de circuitos simultáneos y las tecnologías necesarias para recrear en forma dinámica los circuitos descartados en caso de falla, llevó a considerar otros tipos de redes para solucionar estos inconvenientes.

2.1.2 Conmutación por Paquetes

La premisa para este tipo de redes es que un simple mensaje puede dividirse en múltiples bloques de mensajes. Los bloques individuales o encabezados que contienen información de direccionamiento indican tanto su punto de origen como su destino final. Utilizando esta información incorporada, se pueden enviar por la red a través de diversas rutas esos bloques de mensajes, denominados paquetes, y se pueden reordenar como el mensaje original una vez que llegan a destino (ver Figura 2).

Este tipo de redes no realiza reserva de recursos ya que el recurso es otorgado al primero que lo solicita para el envío de datos, los cuales se transmiten en forma de paquetes, el recurso utilizado no puede ser usado por otro nodo hasta que sea liberado, lo que significa que un nodo no puede reenviar un paquete hasta que no ha sido transmitido completamente por el nodo anterior.

Los dispositivos dentro de la misma red no tienen en cuenta el contenido de los paquetes individuales, sólo es visible la dirección del destino final y del próximo dispositivo en la ruta hacia ese destino. En cada ubicación, se decide qué ruta utilizar para enviar el paquete al destino final. Si una ruta utilizada anteriormente ya no está disponible, la función de enrutamiento puede elegir en forma dinámica la próxima ruta disponible.

La cola de paquetes es transmitida lo más pronto posible tomando en cuenta que cada estación se conecta a su propia velocidad, por tanto, se deben de tomar precauciones a la hora de enviar información entre los nodos para evitar pérdidas y por este motivo, se utilizan Buffers en los nodos para equilibrar las tasas de transferencia. Los paquetes son aceptados aun cuando la red está ocupada, esto causa que la red se sobrecargue y existan pérdidas, sin embargo se puede establecer prioridades para cierto tipo de tráfico que se considere más importante o más sensible a sufrir degradaciones.

Utiliza métodos de envíos múltiples como son el Broadcast y Multicast, además de tener mecanismos de control de flujo y corrección de errores [2].

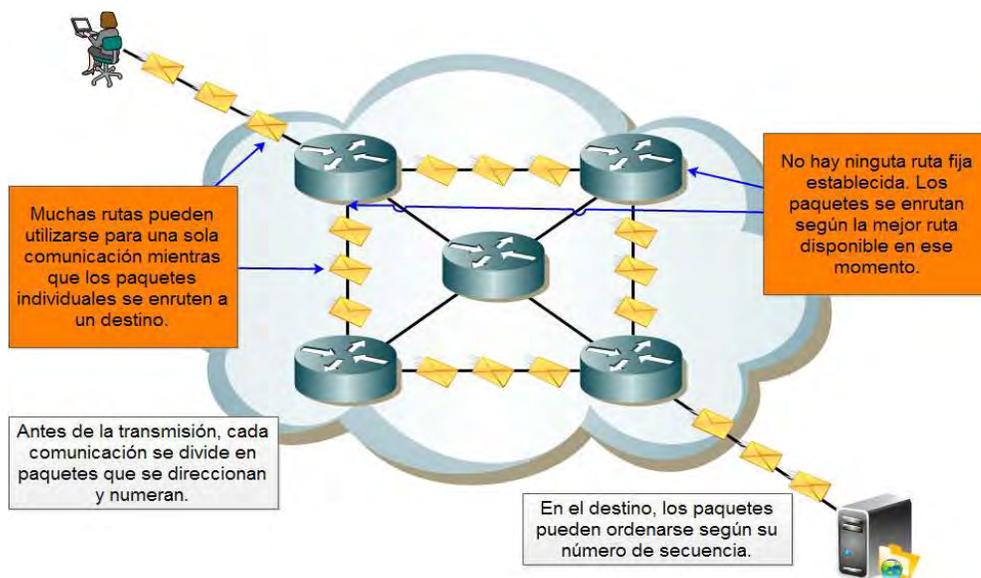


Figura 2 Conmutación por Paquetes [2]

2.2 Clasificación por Medio de Transmisión

Las redes de telecomunicaciones se pueden dividir según su medio de transmisión en 2 tipos diferentes: los alámbricos y los inalámbricos.

En este trabajo nos enfocaremos en los medio inalámbricos, ya que el estudio está basado en un ambiente inalámbrico.

2.2.1 Wi-Fi

El estándar 802.11 o WiFi es una familia de especificaciones desarrolladas por la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) para la tecnología de redes de área local inalámbricas, y que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capa física y de enlace de datos). En éste estándar se especifica una interfaz sobre el aire entre el cliente y la estación base o entre dos clientes inalámbricos [3].

Arquitectura

Una WLAN 802.11 está basada en una arquitectura celular, es decir, el sistema está dividido en celdas, donde cada celda, denominada conjunto de servicio básico (BSS) es controlada por una estación base llamada punto de acceso (AP), como se muestra en la Figura 3, aunque también puede funcionar sin la misma en el caso que las máquinas se comuniquen punto a punto.

Los AP de las distintas celdas están conectados a través de algún tipo de red troncal, llamado sistema de distribución (DS). La LAN inalámbrica completamente interconectada, incluyendo las distintas celdas, los AP respectivos y el sistema de distribución es denominada en el estándar como un conjunto de servicio extendido (ESS) [4].

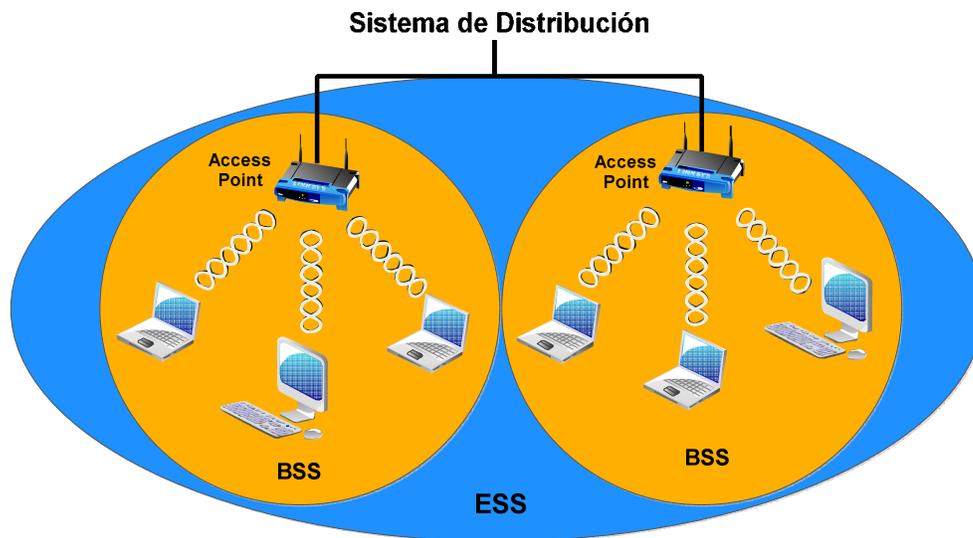


Figura 3 Arquitectura Básica 802.11 [4]

Capa física

Cuenta con 5 técnicas de transmisión, cada una de las cuales posibilita el envío de un paquete de una máquina a otra, pero difieren en la tecnología que usan y las velocidades que alcanzan.

Las técnicas de transmisión utilizadas son las siguientes [5]:

- Método Infrarrojo
- Espectro ensanchado por salto de frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS)
- Espectro ensanchado por secuencia directa (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS)
- Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM)
- Espectro ensanchado por secuencia directa de alta velocidad (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum - HR-DSSS)

Capa de enlace de datos

La capa de enlace de datos está formada por dos subcapas [5]:

- 1- Subcapa MAC (Medium Access Control): determina la asignación del canal para la transmisión, es decir, establece cuál es la estación que transmitirá a continuación.
- 2- Subcapa LLC (Logical Link Control): su trabajo es ocultar las diferencias entre las diferentes variantes de los estándares 802 de modo que sean indistinguibles para las capas superiores.

Esta familia ha desarrollado una serie de estándares, además del original (802.11), aun así, los que más se conocen y que han sido aprobados hasta ahora son el 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n los cuales están en el mercado con un gran éxito comercial (ver Tabla 1).

El estándar 802.11n es uno de los estándares en evolución que surge debido a la gran demanda de las WLAN (Wireless Local Area Network).

Tabla 1 Estándares del Grupo 802.11 [6]

802.11	Estándar original
802.11a	54 Mbps en la banda 5Ghz
802.11b	Mejora en el 802.11, para la banda de 2.4 Ghz soporta 5.5 Mbps y 11 Mbps
802.11d	Extensiones internacionales para roaming, configura dispositivos automáticamente para cumplir las regulaciones locales
802.11e	Introduce mejoras de calidad de servicio
802.11f	Protocolo Inter-access Point Protocol(IAPP), define comunicaciones del punto de acceso interno para facilitar WLAN múltiples
802.11g	54 Mbps en la banda de 2.4 Ghz
802.11h	Define la gestión del espectro de la banda 5Ghz
802.11i	Mejora en la seguridad
802.11j	Adaptación para Japón
802.11k	Medidas de recursos radio
802.11n	Mejoras de rendimiento "throughput"
802.11p	WAVE: wireless access for vehicular environment
802.11r	Roaming rápido
802.11s	Redes ad-hoc wireless
802.11t	Predicción de rendimiento wireless(WPP)
802.11u	Interworking con otras redes
802.11v	Gestión de redes Wireless

Durante la segunda mitad del año 2003 la IEEE aprueba la creación del IEEE 802.11 Task Group N. Éste grupo desarrollaría una nueva revisión del estándar 802.11, en el cual la velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 Mbps, debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b.

Además, con el desarrollo de éste nuevo estándar, se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con la incorporación de la tecnología MIMO (Multiple Input-Multiple Output), la cual permite la utilización de varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas.

A finales de enero del 2006 se aprobó el primer borrador del estándar y en marzo del 2007, después de un intenso debate y controversia entre todos los miembros que forman parte del IEEE, se aprobó la versión borrador 2.0, la cual también se conoce como “draft-n”.

El estándar original o 802.11 “Legacy”, publicado en 1997, especificaba dos tasas de transmisión a 1 y 2 Mbps utilizando señales infrarrojas o en la banda de frecuencia ISM (Industrial Scientific Medical) a 2.4 GHz, aunque actualmente no hay implementaciones en la banda de infrarrojos.

Los estándares 802.11b y 802.11g usan la banda sin licencia de 2.4 GHz, sujeta a interferencias de microondas o teléfonos inalámbricos, mientras que el estándar 802.11a cubre la banda de 5 GHz, mucho más libre de interferencias.

Un problema de éste estándar es que ofrecía tantas opciones que hacía difícil garantizar la interoperabilidad, de manera que se dejaba bastante libertad a los fabricantes, por lo que fue rápidamente superado por el 802.11b.

Estándar 802.11b

El estándar 802.11b fue aprobado en 1999, permitiendo una tasa de transmisión máxima de 11 Mbps, utilizando el mismo método de acceso al medio que el 802.11. En la práctica no era posible superar los 6 Mbps con TCP (Transmission Control Protocol) y los 7 Mbps con UDP (User Datagram Protocol). Los primeros

equipos aparecieron muy rápidamente, ya que era una extensión a una modulación DSSS del estándar original. El aumento de velocidad y el reducido costo consiguieron un rápido crecimiento de la oferta y la demanda.

El protocolo se puede utilizar en topologías punto-a-multipunto o punto-a-punto, con enlaces con distancias proporcionales a las características de las antenas y potencia utilizada. Además, si existen problemas de calidad de señal, es posible transmitir a 5.5, 2 y 1 Mbps, que utilizan métodos más redundantes de codificación de datos.

El estándar divide el espectro en 14 canales que se traslapan, a una distancia de 5Mhz cada uno de ellos. Esto provoca que cada canal interfiera con los dos adyacentes a cada lado, ya que el ancho de banda es 22Mhz, a partir de donde la señal cae 30 dB como mínimo.

Es por ello que se recomienda optar por los canales disjuntos (como los canales 1,6 ó 11), que no representan traslapes especiales, produciéndose interferencias mínimas.

Los canales disponibles en cada país difieren de acuerdo a la reglamentación del mismo. Así, mientras en los Estados Unidos hay 11 canales disponibles, en Europa se disponen de 13 y en Japón 14.

Estándar 802.11a

El estándar fue aprobado en 1999. Se basa en el estándar original, operando en la banda de 5 Ghz, pero utilizando la técnica OFDM de modulación con 52 canales, alcanzando tasas de transmisión de hasta 54 Mbps, que se pueden corresponder con un rendimiento real de 20 Mbps. De forma similar al estándar 802.11b, la tasa se puede reducir a 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbps.

El estándar dispone de 12 canales no traslapados. El utilizar la banda de 5 GHz permite disponer de menos interferencias, pero condiciona las instalaciones a disponer de línea de vista, además de tener una mayor absorción.

En un primer momento fue utilizado en Estados Unidos y Japón, sin obtener licencia para operar en Europa, que en ese momento optaba por apostar por el estándar Hiperlan, hasta que en 2003 fue admitido.

De las 52 subportadoras, 48 se utilizan para datos y cuatro actúan como pilotos, con una separación de 312.5 Khz. Cada subportadora puede ser BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), 16 QAM (Quadrature Amplitud Modulation) o 64 QAM.

La duración del símbolo es de 4 microsegundos, con un intervalo de guarda de 0.8 microsegundos. Esta tecnología no fue tan adoptada como la basada en el 802.11b, ya que tenía un rango menor y estaba limitada en Europa.

Estándar 802.11g

En Junio de 2003 se aprobó el tercer estándar, el 802.11g. Este estándar funciona en la banda de los 2.4 Ghz, como el 802.11b, pero con una tasa máxima de 54 Mbps (y efectiva de 24.7 Mbps). Es compatible con el 802.11b y utiliza las mismas frecuencias.

Desafortunadamente, los conflictos con los equipos 802.11b, las interferencias y el hecho de que las frecuencias más altas estén más expuestas a sufrir pérdidas han reducido la efectividad de la tecnología. El hecho de que hayan aparecido “chips” y equipos “tri” banda han favorecido el despliegue de la tecnología. Una característica adicional, llamada SuperG, hace posible duplicar la señal, pero ocasiona conflictos con otros equipos provocando que no sea compatible en muchos casos.

Estándar 802.11n

Obviamente, como en todos los ámbitos, siempre se quiere avanzar, ir un paso adelante y mejorar lo ya existente. En el caso del 802.11n, además de la gran demanda que tienen las redes inalámbricas por la necesidad de tener conectadas a Internet las computadoras portátiles desplazándonos libremente, los siguientes puntos se tomaron en cuenta para el desarrollo de éste estándar:

- 1- La velocidad de transmisión experimentada por los usuarios de redes inalámbricas se ve significativamente afectada por las diversas fuentes de sobrecarga dentro del protocolo 802.11. La sobrecarga se debe principalmente a los preámbulos necesarios para cada paquete, como por ejemplo, los acuses de recibo, ventanas de contención, y varios parámetros de espaciado entre tramas. Los problemas de sobrecarga se hicieron más agudos con el incremento de la velocidad de transmisión.
- 2- La posibilidad de crear paridad en cuanto a capacidad de transmisión de datos entre los sistemas inalámbricos y los no inalámbricos de tal forma que las empresas puedan extender su uso de redes inalámbricas a aquellas áreas en las cuales no se puede utilizar debido a que la tasa de transmisión de datos de los productos inalámbricos existentes es insuficiente.
- 3- En los distintos estándares del 802.11 que fueron desarrollados, la porción de datos acarreados dentro de los paquetes se redujo, mientras que la sobrecarga permaneció fija.

Por ejemplo, el estándar 802.11b, con un pico de velocidad de transmisión de datos de 11 Mbps, normalmente alcanza un pico neto de 5 o 6 Mbps, mientras que los estándares 802.11a y 802.11g, con un pico de transmisión de datos PHY (a nivel de la capa física) de 54 Mbps, alcanza un pico neto de alrededor de 20 a 24 Mbps. Es por esto que se demanda una mejora en la capacidad de procesamiento de datos de cuatro a cinco veces sobre el máximo alcanzado con 802.11a/g.

El objetivo principal por el cual se aceptó la creación del estándar 802.11n es definir modificaciones en la capa física y la capa de control de acceso al medio para alcanzar una velocidad de procesamiento de datos de 100 Mbps en la capa MAC SAP (Media Access Control Layer Service Access Point) situada en el tope de la capa de control de acceso al medio [7].

Tomando en cuenta este mínimo requerimiento, se podrá tener aproximadamente un flujo de datos 4 veces mayor que el de las redes actuales con los estándares 802.11. La propuesta del grupo para dar éste paso en la transformación de las redes inalámbricas es el de dar un mejor servicio al usuario con las nuevas

aplicaciones de las redes inalámbricas y nuevas zonas de mercado. A la vez se espera una suave transición hacia una nueva tecnología.

El borrador fue aprobado en el 2007, pero no fue hasta el 2009 que se aprobó el estándar 802.11n, puede ofrecer velocidades de datos de hasta 600 Mbps. Pero el hardware de las WLAN no necesita soportar cada opción para ser complaciente con el estándar. En el 2006, por ejemplo, la mayoría del hardware “draft-n” para WLAN disponible estaba esperando soportar velocidades de datos hasta 300 Mbps. En el borrador 802.11n, el primer requerimiento es soportar la implementación de OFDM que mejora al 802.11a/g (ver Tabla 2), usando una tasa más alta de código y escasamente más ancho de banda. Éste cambio mejora la máxima velocidad alcanzable de datos a 65 Mbps de 54 Mbps en los estándares existentes.

Tabla 2 Principales Componentes del Borrador 802.11n [8]

Características	Definición
Mejor OFDM	Mayor ancho de banda y velocidad máxima de 65Mbps
Multiplexado por división de espacio	Mejora la transformación por “parsing” de datos al transmitir a través de múltiples antenas
Diversidad	Explota la existencia de múltiples antenas. Utilizando cuando el número de antenas en el receptor es más alta que el de flujos siendo transmitidos
Ahorro de poder MIMO	Limita el consumo de poder utilizado por MIMO
Canales de 40MHz	Duplica el ancho de banda de 20MHz a 40MHz
Agregación	Transmite múltiples paquetes de datos de forma consecutiva
Modo “Greenfiel”	Elimina el soporte para 802.11a/b/g en redes “draf-n”

Tecnología MIMO

Uno de los más importantes componentes de las especificaciones del borrador es conocido como Multiple Entrada Multiple Salida o MIMO. De hecho, muchos

identifican al 802.11n como el “estándar MIMO”. Esta es una tecnología que, mediante el empleo de varias antenas, ofrece la posibilidad de transmitir información coherentemente desde varias rutas de señales mediante antenas receptoras separadas espacialmente.

Las señales multi-ruta son las señales reflejadas que llegan al receptor en cualquier momento después de la señal original o de la línea de vista que ha sido recibida. Generalmente la multi-ruta es considerada como interferencia que reduce la habilidad del receptor para recuperar información inteligente.

MIMO proporciona la oportunidad de transmitir espacialmente las señales multi-rutas, al proporcionar ganancias de diversidad que contribuyen a la habilidad de un receptor para recuperar la información inteligente. Otra oportunidad valiosa que puede proporcionar la tecnología MIMO es el Multiplexado por División Espacial (Spatial Division Multiplexing - SDM), el cual crea una división espacial multiplexada en varios flujos de datos independientes, transferidos simultáneamente dentro de un canal espectral del ancho de banda.

El MIMO SDM puede incrementar notablemente el rendimiento de datos, así como la cantidad de flujos espaciales permitidos. Cada flujo requiere su propio par de antenas TX/RX, como se muestra en la Figura 4 [5].

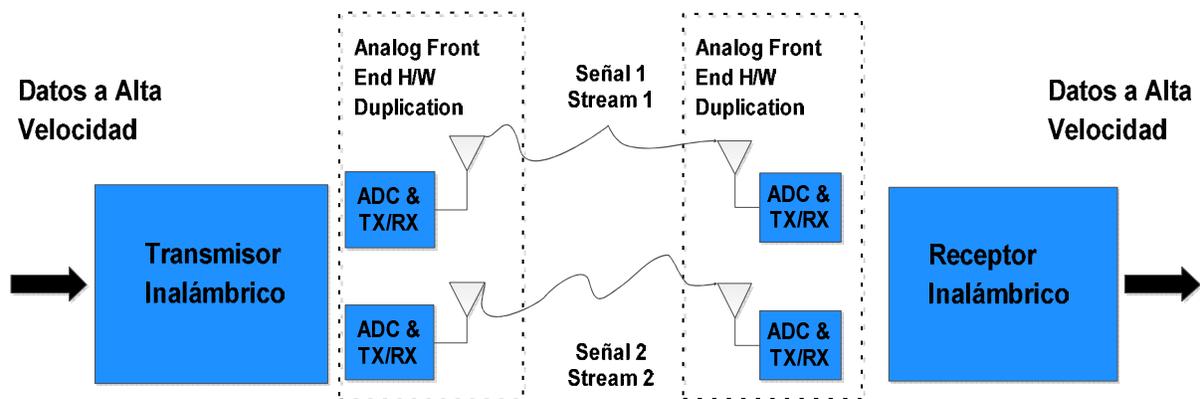


Figura 4 Diagrama MIMO de un Sistema Básico de 2 Antenas y 2 Flujos SDM [9]

Hay 2 características en las especificaciones del “draft-n” que se enfocan en mejorar la ejecución de MIMO, llamada “beam-forming” (forma de emisión) y

diversidad. “Beam-forming” es una técnica que enfoca señales de radio directamente en la antena, mejorando el rango de ejecución por una limitación de interferencia.

La diversidad explota múltiples antenas por la combinación de salidas o seleccionando la mejor parte de un largo número de antenas que requieren recibir un número de flujos espaciales. Esto es importante porque las especificaciones del “draft-n” soportan hasta 4 antenas, así que los dispositivos probablemente se comuniquen unos con otros contruidos con un diferente número de antenas.

El número de flujos de datos simultáneos está dado por el número mínimo de antenas en uso por ambos lados del enlace. Las configuraciones más comunes de los dispositivos certificados con el borrador “draft-n” son 2x2:2, 2x3:2, y 3x3:2.

Donde las configuraciones de las antenas pueden ser:

- Desde 2x1 (2 Emisores y 1 Receptor) hasta 4x4 (4 Emisores y 4 Receptores) transmitiendo de 1 a 4 flujos distintos lo que permite alcanzar velocidades desde 150Mbps hasta 600Mbps.

A continuación se ilustran unas tablas comparativas (Tablas 3 y 4) de los principales estándares 802.11.

Tabla 3 Comparativa de Velocidades de Transmisión de los Estándares 802.11 [9]

Estándar IEEE WLAN	Estimación Over-the-Air (OTA)	Estimación Media Access Control Layer, Service Access Point (MAC SAP)
802.11b	11Mbps	5Mbps
802.11g	54Mbps	25Mbps (Cuando 802.11b no está presente)
802.11a	54Mbps	25Mbps
802.11n	200Mbs+	100Mbps

Tabla 4 Comparativa de Características de los Estándares 802.11 [8]

Estándar	802.11 “Legacy”	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Año de Aprobación	1997	1999	1999	2003	2009
Velocidad	1 – 2Mbps	54Mbps	11Mbps	54Mbps	600Mbps
Modulación	FHSS DSSS	OFDM	DSSS	OFDM DSSS	OFDM DSSS
Banda	2.4GHz	5GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz 5GHz
Numero de Flujos	1	1	1	1	1 - 4
Canal	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz 40MHz
Compatibilidad		Incompatible con b y g	Compatible con g, incompatible con a	Compatible con b, incompatible con a	Compatible con a, b y g

2.2.2 WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Conocida también como estándar IEEE 802.16. Estos estándares permitirán conexiones de velocidades similares al ADSL o al cable módem, sin cables, y hasta una distancia de 50-60 km (ver Tabla 5). Este nuevo estándar será compatible con otros anteriores, como el de Wi-Fi (IEEE 802.11).

Es la tecnología de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (BWA) más popular de hoy en día, es considerada la mejor opción para la transmisión de internet en áreas rurales aisladas. Dentro de sus principales características cabe mencionar que es flexible y eficiente además de brindar gran velocidad para redes de área metropolitana o WMANs. Soporta acceso de banda ancha: fijo, portátil y móvil, y

una de las características que ha impulsado la popularidad de esta tecnología es la interoperabilidad y coexistencia entre sistemas BWA de diferentes fabricantes.

Y en conjunto a todo esto también hay que mencionar que es de construcción rápida y de bajo costo, ya que para montar un sistema WiMax solo es necesario tener dos partes: estación base y estación suscriptor.

La tecnología WiMax será la base de las redes metropolitanas de acceso a Internet, servirá de apoyo para facilitar las conexiones en zonas rurales, y se utilizará en el mundo empresarial para implementar las comunicaciones internas. Además, su popularización supondrá el despegue definitivo de otras tecnologías, como VoIP [10].

Tabla 5 Comparativa de WiMAX [10]

Características	802.16	802.16 ^a	802.16-2004	802.16e
Rango de Frecuencia	10-66 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz 10-66 GHz	2-6 GHz
Condición del Canal	Línea de Vista	Sin línea de vista	Sin línea de vista	Sin línea de vista
Ancho de banda del canal	20, 25, 28 MHz	1.25-28 MHz	1.25-28 MHz	1.25-20 MHz
Arquitectura de Red	P-P P-MP	P-P P-MP Malla	P-P P-MP Malla	P-P P-MP Malla
Velocidad	34-134 Mbps	Hasta 75 Mbps	Hasta 75 Mbps	Hasta 15 Mbps
Movilidad	Fija	Fija	Fija	
Radio de alcance	1-3 Millas	30 Millas	30 Millas	1-3 Millas
Aplicaciones	Reemplazar E1/T1 empresariales, backhoul para hot spot, pequeños negocios	Alternativa a E1/T1, DSL, backhoul para celular y WiFi, VoIP, Conexión a Internet	Aplicaciones 802.16 + 802.16a	Aplicaciones 802.16-2004 y VoIP, aplicaciones basadas en QoS

2.3 Redes de Próxima Generación (NGN)

Las primeras redes de datos estaban limitadas a intercambiar información basada en caracteres entre sistemas informáticos conectados. Las redes actuales evolucionaron, de tal forma que incorporan múltiples medios, tales como, voz, video, datos y gráficos, a los diferentes tipos de dispositivos terminales. Las redes de comunicación, anteriormente individuales y heterogéneas, se unieron en una plataforma común. Esta plataforma común, proporciona acceso a una amplia variedad de nuevos métodos de comunicación alternativos que permiten a las personas interactuar directamente con otras en forma casi instantánea.

Los servicios de telefonía tradicional, radio, televisión y datos informáticos tienen su propia versión individual de los cuatro elementos básicos de la red. En el pasado, cada uno de estos servicios requería una tecnología diferente para emitir su señal de comunicación particular. Además, cada servicio tiene su propio conjunto de reglas y estándares para garantizar la comunicación exitosa de su señal a través de un medio específico.

Los avances tecnológicos nos permiten consolidar esas redes dispersas en una única plataforma: una plataforma definida como una red convergente de próxima generación, donde, el flujo de voz, vídeo y datos sean transportados a través de la misma red y eliminar la necesidad de crear y mantener redes separadas. En una red convergente de próxima generación, existe una gran variedad de terminales (computadoras personales, teléfonos, televisores, asistentes personales, registradoras de puntos de venta minoristas, etc) pero una sola infraestructura de red común, como se muestra en la Figura 5 [1].

El grupo de estudio 13 del Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) en la Recomendación Y.2001 define una red de próxima generación como:

Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicaciones, en la cual, se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha que proporcionan QoS, y en la que las funciones

relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte [11].

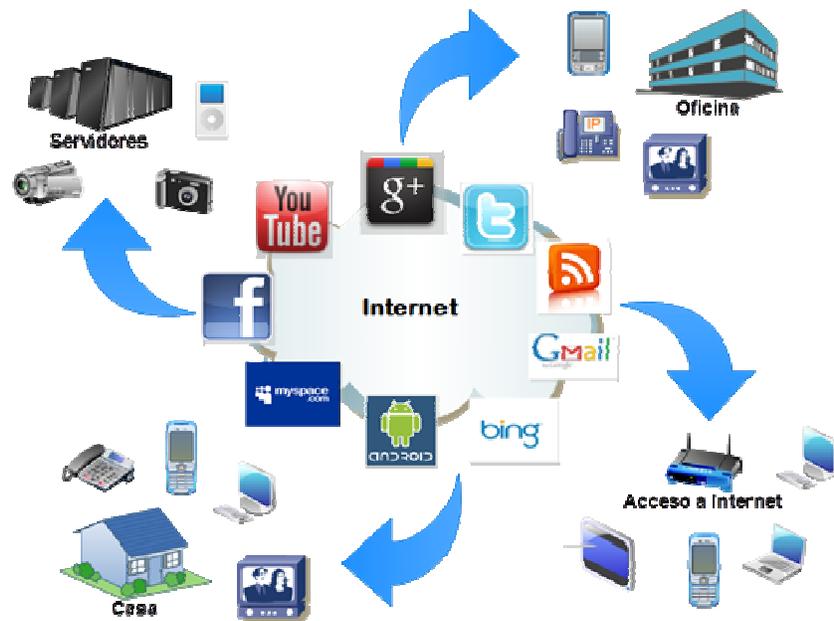


Figura 5 Redes de Próxima Generación

Según los lineamientos y estándares de la ITU-T incluidas en la Recomendación Y.2001, para que una red sea considerada de nueva generación debe cumplir con lo siguiente [11]:

- La transferencia estará basada en paquetes
- Soporte de una amplia gama de servicios, aplicaciones y mecanismos basados en construcción de servicios por bloques
- Tendrá capacidades de banda ancha con calidad de servicio (QoS) extremo a extremo
- Movilidad generalizada
- Convergencia entre servicios fijos y móviles
- Tendrá interfuncionamiento con redes tradicionales a través de interfaces abiertas

Referencias

- [1] G. Fiche & G. Hébuterne, Communicating Systems & Networks: Traffic & Performance, Kogan Page Sciece, Capitulo1 London and Sterlin, VA, 2004.
- [2]Curricula de Cisco CCNA v4.0
- [3] IEEE 802.11 – Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications (Std. IEEE 802.11), 2007
- [4] Matthew Gast, 802.11® Wireless Networks: The Definitive Guide, Cambridge, MA: O'Reilly, Abril de 2002
- [5] Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks 4ª Edición, Prentice Hall, Marzo 17 de 2003
- [6]IEEE Grupo de Estandares 802.11x
- [7] IEEE 802.11n – Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications (Std. IEEE 802.11), 2009
- [8] 802.11n Next Generation Wireless LAN Technology, Broadcom Corporation, April, 2006
- [9] James M. Gilson Technical Marketing Engineer, Communications Technology Lab. Intel Corporation, “The Next Generation of Wireless LAN Emerges with 802.11n”, Technology@Intel Magazine. Agosto de 2004
- [10] S. Ahson y M. Ilyas, WiMAX Aplicaciones, CRC Press, Taylor & Francis Group, Capitulo 2, Boca Raton, FL, 2008
- [11] TU-T, “Y.2001: General overview of NGN (Next Generation Networks)”, Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2004.

Capítulo 3 - Transmisión de Voz sobre Redes de Datos

Desde su origen las redes de datos se han convertido en un gran medio de comunicación mundial y han traído grandes avances en el área de las telecomunicaciones, esto ha motivado a los desarrolladores a diseñar nuevas e innovadoras aplicaciones con grandes requerimientos de ancho de banda y bajo retardo en la comunicación punto a punto. Una de las aplicaciones que ha sobresalido es VoIP, la cual permite transmitir voz sobre la red de datos. Lo que comenzó como un simple experimento, se ha convertido en una necesidad de gran demanda para las comunidades científicas e industriales [1].

3.1 Voz sobre el Protocolo de Internet

Tecnología que permite transmitir voz sobre redes de conmutación de paquetes bajo la pila de protocolos TCP/IP. Desde su origen ha tenido grandes avances y ahora es reconocida mundialmente como la alternativa más popular para la telefonía tradicional en hogares y empresas. En la Figura 6 se muestra un diagrama básico del funcionamiento de un sistema VoIP.

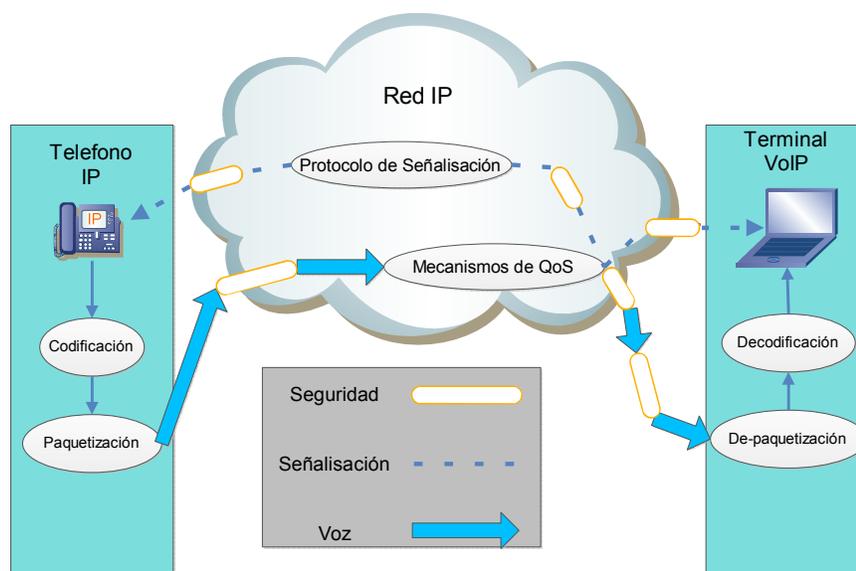


Figura 6 Diagrama Básico de un Sistema VoIP [1]

VoIP tiene el potencial para revolucionar la telefonía y su popularidad se ve impulsada por la creciente oferta de telefonía por internet, además de que le brinda al usuario muchas ventajas sobre la telefonía tradicional, tales como: bajo costo en llamadas de larga distancia e internacionales, servicios más atractivos, unificación de redes, etc.

El surgimiento de tecnología de voz sobre IP y nuevas aplicaciones en tiempo real que demandan cierto nivel de QoS, han motivado la creación de las redes de nueva generación, las cuales representan la evolución de las redes de telecomunicación [1].

3.2 Codificación de la voz

Debido a que una red de datos, debe brindar servicio a muchos usuarios al mismo tiempo, es necesario que el ancho de banda utilizado por servicios específicos sea optimizado lo mejor posible, por tal motivo, la relación entre la compresión de la señal de voz y la calidad de la misma, representa un compromiso muy importante.

Los CODECs de voz son algoritmos que permiten a los sistemas de comunicación transportar señales analógicas sobre líneas digitales. Hay muchos CODECs de voz y varían en complejidad, uso de ancho de banda y calidad de la voz en función de la tasa de compresión. Mientras menor compresión efectuó, mejor calidad de voz proporcionará y en consecuencia, usará mayor ancho de banda.

La telefonía tradicional o PSTN trabaja con muestras de 8kHz y un esquema de cuantización no lineal de 8 bits y una codificación de 64kbps. Una codificación a una tasa mucho más baja, es requerida para capacidades de red limitas o para maximizar la cantidad de tráfico que se puede transportar por la red. Existen CODECs con tasas de codificación de hasta 2.15kbps, aunque la calidad de la señal es muy inferior a la del G.711.

Los CODECs pueden ser clasificados en tres categorías. CODECs de banda estrecha que operan con audio en frecuencias que van de 300 a 3400 Hz y

muestras de 8 kHz. Los CODECs de banda ancha, los cuales operan con señales de audio que van desde los 50 hasta los 7000 Hz y muestras de 16 kHz. Por último los CODECs multimodo, los cuales pueden operar tanto en banda estrecha como en banda ancha [1].

3.2.1 CODECs de Banda Estrecha

G.711 [2]

Utiliza el método de modulación por impulsos codificados (PCM) para transformar una señal analógica en una señal digital, trabaja tomando muestras de 8 bits cada 125 μ s, lo que produce una frecuencia de 64 kbps. Este estándar tiene 2 formas, μ -Law que es usado en norte América y Japón, la segunda forma es A-Law este se utiliza en el resto del mundo.

El codificador A-Law toma muestras lineales de 13 bits y las convierte en muestras comprimidas de 8 bits y su decodificador hace la conversión inversa. El codificador μ -Law toma muestras lineales de 14 bits y las transforma en muestras comprimidas de 8 bits. G.711 es el códec estándar del H.323 y de la red digital de servicios integrados (ISDN).

G.723.1 [3]

Es un CODEC de voz de tasa doble de la ITU-T. Desarrollado originalmente para videoteléfonos que enviaran voz y video sobre una línea clásica PSTN. Fue diseñado por la ITU-T H.323 y H.324 como estándar para comprimir la voz en telefonía y videoconferencia. Fue estandarizado en 1996 y opera a 2 tasas:

- 6.3 kbps (usa 24 bytes) utiliza el algoritmo "Multi Pulse-Maximum Likelihood Quantization" (MPC-MLQ).
- 5.3 kbps (usa 20 bytes) utiliza el algoritmo "Algebraic Code Excited Linear Prediction" (ACELP)

El uso del anexo A, también incluye técnicas de supresión de silencio, para reducir la tasa de bit (bit-rate) durante los intervalos de silencio de una conversación. La

ventaja de usar la detección de actividad de la voz (VAD), es reducir el tiempo de procesamiento y ancho de banda durante los intervalos de silencio.

G.726 [4]

Sucesor del G.723. Trabaja a 4 diferentes tasas: 16, 24, 32, 40 Kbps. Específicamente este códec es recomendado para convertir un canal de 64 Kbps PCM μ -Law o A-Law, codificado a 8 KHz a un canal de 16, 24, 32, 40 Kbps. Sin embargo, las tasas de 16 y 24 Kbps no ofrecen buena calidad de voz, por lo que la UTI-T recomienda alternar estas tasas con tasas de codificación de datos mayores, para obtener un promedio de tamaño de muestra entre 3.5 y 3.7 bits por muestra.

G.728 [5]

Describe un códec de voz de bajo retardo para codificación de señales de voz a 16 Kbps usando la técnica de “Low Delay CODEC Excited Linear Prediction” (LD-CELP). El anexo I es la técnica de cancelación de pérdida de paquetes usadas junto con el G.728. Este es un códec de voz muy robusto, con una muy buena calidad de voz, comparada a las de ADPCM de 32 Kbps.

G.729 [6]

Este códec permite agregar más llamadas en un ancho de banda limitado, con el fin de lograr una mejor eficiencia en sistemas VoIP. Su codificación trabaja a 8 Kbps y está optimizado para brindar voz de alta calidad. Utiliza el algoritmo “Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction” (CS-ACELP) con tramas de 10ms.

El anexo A es una variación con una calidad de voz ligeramente más baja, sin embargo tanto G.729 como G.729A pueden trabajar combinados, ya que sus decodificadores funcionan para ambos CODECs. G.729A es un CODEC de voz muy robusto, con una muy buena calidad de voz, comparada a las de ADPCM de 32 Kbps.

El anexo B incorpora un módulo de detección de actividad de la voz y detección de transmisión discontinua. Este último decide si se actualizan los parámetros de ruido de fondo durante los periodos de silencio como lo hace el módulo de generación de ruido confortable (CNG).

G.729D [6]

Funciona a una tasa de 6.4 Kbps. Este CODEC es utilizado cuando existe congestión, ya que la misma operación puede continuar a una tasa de 6.4 Kbps, con una mínima pérdida de la calidad, o cuando se necesitan más bytes para la corrección de errores de envío para compensar el deterioro del canal.

G.729E [6]

Este códec trabaja a 11.8 Kbps y puede ser usado cuando hay ancho de banda disponible para proveer rendimiento en la presencia de música o ruido de fondo. Codifica las tramas de 2 diferentes maneras luego escoge el método que parece proveer mayor fidelidad. La diferencia entre ambos métodos radica en el algoritmo usado para la compresión. Uno utiliza CS-ACELP y el otro "Line Predictive Coding" (LPC).

GSM-FR (Full Rate) [1]

Este códec fue el primer estándar de codificación digital de la voz usado en el sistemas de comunicación GSM (Sistema Global para Comunicación Móvil). Trabaja a 13 Kbps. Introducido en 1987, este CODEC trabaja con el principio de codificación "Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction-Linear Predictive" (RPE-LTP). El codificador toma su entrada como una señal uniforme PCM de 13 bits, desde la estación móvil, en el lado de la red, como desde la PSTN usando una conversión de 8bits/A-Law a una PCM uniforme de 13 bits.

La calidad que proporciona es muy pobre comparada con los estándares que hoy se usan, pero cuando fue desarrollado era una gran combinación entre complejidad computacional y calidad. Todavía es usada en muchas redes alrededor del mundo.

GSM-HR (Half Rate) [1]

Introducido en 1994. Este CODEC usa el algoritmo VSELP (Vector-Sum Excited Linear Prediction). Trabaja a una tasa de 5.6 Kbps, la mitad del GSM-FR, lo que permite el doble de capacidad de voz, pero con una calidad más baja.

GSM-EFR (Enhanced Full Rate) [1]

Versión mejorada del GSM-FR, fue introducido en 1997. Trabaja a una tasa de 12.2 Kbps y está basado en ACELP. Consume menos ancho de banda y ofrece mejor calidad de voz, además de estar reforzado en cuanto a deficiencias de red.

MELPe (Mixed-Excitation Linear Predictive) [1]

Este algoritmo vocoder, después de varios años de pruebas se convierte en el nuevo estándar federal elegido por el departamento de defensa de los Estados Unidos y por el digital voice processing consortium.

Trabaja con tasas de 1.2 y 2.4 kbps. Es muy robusto para escenarios con ruido de fondo muy severos, como los sistemas de comunicación comerciales y militares. Es muy eficiente en cuanto a requisitos computacionales, lo que significa menos consumo de energía, algo muy importante para los sistemas portátiles.

AMR (Adaptive Multi-Rate) [7]

Fue introducido por la "3rd Generation Partnership Project" (3GPP), para una calidad total de compresión (8 kHz). Fue diseñado tomando en cuenta la volatilidad del medio inalámbrico para la 3ra generación de teléfonos móviles. Este CODEC trabaja con 8 tasas de codificación diferentes: 12.2, 10.2, 7.95, 7.40, 6.70, 5.90, 5.15 y 4.75 Kbps, con la característica de poder cambiar entre las distintas tasas durante la transmisión. Usa el principio de ACELP.

Además tiene 2 tipos de algoritmo VAD y CNG. Pero sobretodo fue diseñado específicamente para proveer robustez a los enlaces. AMR ofrece una adaptación dinámica a los congestionamientos de red, usando tasas de codificación bajas cuando es necesario manteniendo la calidad de la voz a un nivel aceptable.

AMR logra maximizar la posibilidad de recibir la señal en el extremo más lejano, cambiando la frecuencia de la transmisión al canal de codificación adecuando. AMR es considerado el códec de voz más usado a nivel mundial en la actualidad.

iLBC (Internet Low Bitrate CODEC) [8]

Es un códec de voz libre, desarrollado por “Global IP Sound” (GIPS). El hecho de ser libre lo convirtió en un CODEC muy utilizado por aplicaciones freeware y comerciales, como lo son Skype, the Gizmo Project, OpenWengo y Google Talk. Soporta 2 longitudes de paquetes de voz o tramas: 20 ms a 15.2 kbps y 30 ms a 13.33 kbps. Este códec utiliza un algoritmo LPC de bloques independientes.

La razón de usar una codificación distinta para cada bloque de tramas, es que le permite soportar cierto grado de pérdida de tramas, sin embargo aunque esto brinda una mejor calidad, si el 10% o más de los paquetes están siendo descartados, iLBC se convierte en un al CODEC poco óptimo.

3.2.2 CODEC de Banda Ancha

G.722 [9]

Primer CODEC de banda ancha estandarizado por la ITU-T y usado para videoconferencia en ISDN. Puede soportar señales de video y audio de hasta 7 kHz. Se basa en el principio de “Sub-Band – Adaptive Differential Pulse Code Modulation” (SB-ADPCM).

La señal se divide en 2 sub-bandas codificadas con ADPCM. Opera en 3 modos dependiendo de la frecuencia, para 7 kHz: 64, 56 y 48 Kbps. Los otros 2 modos son canales auxiliares de 8 y 16 Kbps, que apoyan al canal de 64 Kbps, usando bits de las sub-bandas de más abajo.

G.722.1 [10]

Es un códec de audio estándar de la ITU-T para frecuencias menores a 64 kbps, utiliza 24 y 32 kbps. Su algoritmo está basado en tecnología de transformación, usando el algoritmo “Modulated Lapped Transform” (MLT), opera con tramas de

20ms, esto debido a que es el tamaño óptimo para el buffer de anticipación es de 20ms.

G.722.2 [11]

Desarrollado en conjunto por VoiceAge y Nokia, es el primer estándar adoptado para las tecnologías tanto inalámbricas como alámbricas. Soporta 9 tasas de codificación: 6.60, 8.85, 12.65, 14.25, 15.85, 18.25, 19.85, 23.05 o 23.85 Kbps. utiliza ACELP para los modos de codificación multifrecuencia.

Se dio a conocer en 2001 como AMR-WB por ETSI/3GPP, pero en 2002 fue aprobado por la ITU-T como G.722.2.

AMR-WB+ (Adaptive Multi-Rate Wideband Plus) [7]

Mejora del AWR-WB, agrega soporte para estéreo señales y tasas de muestreo mayores. Además utiliza un código de transformación adicional al ACELP, esto mejora la codificación del audio genérico.

G.729.1 [12]

Mejora del G.729 con soporte para codificación de voz y audio de Banda Ancha, su rango de frecuencia se extiende desde 50 Hz hasta 7 KHz. Este códec también puede ser usado para codificación de banda estrecha usando señales con un rango de frecuencia de 50 – 4000 Hz y tasas de muestreo de 8 y 12 Kbps. Por lo tanto se puede emplear en los sistemas existentes basado en G.729.

iSAC (internet Speech Audio CODEC) [1]

Desarrollado por Global IP Sound, es el códec usado por Skype, the Gizmo Project y Google Talk. Pero a diferencia de iLBC, este CODEC es propietario. Es un CODEC de banda ancha que brinda una calidad de sonido mejor que el usado en la PSTN. Para lograr la mejor calidad de sonido con la velocidad que tiene el enlace, este CODEC varía su tasa desde 10 hasta 32 Kbps, consiguiendo así un equilibrio entre ancho de banda y calidad de la voz. Este CODEC es propenso a la

perdida de paquetes y existe una versión de menor complejidad para PDAs y teléfonos móviles.

3.2.3 Códec Multibanda

Speex [1]

Es un open source/free software, diseñado para la compresión de audio en formato de voz. Está bien adaptado para el manejo de sistemas VoIP, streaming de audio por internet, archivar datos (como correo de voz) y audiolibros. Actualmente Speex está siendo usado en proyectos como Lin-Phone, OpenH323 y GnomeMeeting. Fue diseñado con 3 tasas de muestreo: 8, 16 y 32 kHz. Está basado en el algoritmo "Code Excited Linear Prediction" (CELP) y fue diseñado para codificar a tasas desde 2.2 hasta 44 kbps. Puede cambiar entre tasa de codificación dinámicamente. En Speex los sonidos de las vocales o de alto nivel de energía necesitan una mayor tasa de bits, mientras que otros sonidos se pueden codificar a tasas más bajas, con esto logra que la tasa de bits variable (VBR) use un menor bitrate para mantener la misma calidad o que brinde una mejor calidad para un bitrate específico, sin embargo el VBR tiene 2 desventajas. La primera es que solo especifica la calidad, pero al final no garantiza una tasa de bits media. La segunda, para aplicaciones en tiempo real como VoIP, lo más importante es la tasa de bits, el cual debe ser lo suficientemente bajo para el canal de comunicación. Speex también usa cancelación de paquetes, algo que lo hace un buen candidato para entornos inalámbricos.

BroadVoice [1]

Conjunto de CODECs desarrollado por Broadcom para aplicaciones de VoIP. Se divide en 2 versiones, BroadVoice16 de tipo banda estrecha, trabaja a 16 kbps y una tasa de muestreo de 8 kHz. BroadVoice32 de tipo banda ancha, trabaja a 32 kbps y una tasa de muestreo de 16 kHz.

En la tabla 6 se muestra una comparativa de las principales características de los diferentes CODECs de voz que se describieron anteriormente.

Tabla 6 Comparativa de los Principales CODECs de Voz [1]

CODEC	Bitrate (Kbps)	Tamaño de Frame (ms)	Bits por Frame	Retardo de Algoritmo (ms)	Retardo de CODEC (ms)	Tipo de Compresión	Complejidad (MIPS)	MOS
Narrowband CODECs								
G.711	64	0.125	8	0.125	0.25	PCM	<<1	4.1
G.723.1	6.3	30	189	37.5	67.5	MP-MLQ	≤18	3.8
G.723.1	5.3	30	159	37.5	67.5	ACELP	≤18	3.6
G.726	16	0.125	2	0.125	0.25	ADPCM	≈1	-
G.726	24	0.125	3	0.125	0.25	ADPCM	≈1	3.5
G.726	32	0.125	4	0.125	0.25	ADPCM	≈1	4.1
G.728	16	0.625	10	0.625	1.25	LD-CELP	≈30	3.61
G.729	8	10	80	15	25	CS-ACELP	≤20	3.92
G.729A	8	10	80	15	25	CS-ACELP	≤11	3.7
G.729D	6.4	10	64	15	25	CS-ACELP	<20	3.8
G.729E	11.8	10	118	15	25	CS-ACELP LPC	<30	4
GSM-FR	13	20	260	20	40	RPE-LTP	≈4.5	3.6
GSM-HR	5.6	20	112	24.4	44.4	VSELP	≈30	3.5

GSM-EFR	12.2	20	244	20	40	ACELP	≈20	4.1
AMR-NB	4.7-12.2	20	95-244	25	45	ACELP	15-20	3.5-41
iLBC	13.33	30	400	40	60	LPC	18	3.8
iLBC	15.2	20	304	25	40	LPC	15	3.9
Speex (NB)	2.15- 24.6	20	43-492	30	50	CELP	8-25	2.8-4.2
BV16	16	5	80	5	10	TSNFC	12	4
Broadband CODECs								
G.722	48, 56, 64	0.0625	3-4	1.5	1.5625	SB-ADPCM	5	~4.1
G.722.1	24, 32	20	480, 640	40	60	MLT	<15	~4
AMR-WB	6.6- 23.85	20	132-477	25	45	ACELP	≈38	Varios
G.722.2	6.6- 23.85	20	132-477	25	45	ACELP	≈38	Varios
Speex (WB)	4-44.2	20	80-884	34	50	CELP	8-25	Varios
iSAC	Variable 10-32	Adaptativo 30-60	Adaptativo- variable	Frame + 3ms	Adaptativo 63-123	Transform Coding	6-10	Varios
BV32	32	5	160	5	10	TSNFC	17.5	~4,1

3.3 Protocolos de Señalización

Para la transmisión de llamadas telefónicas a través de la red de conmutación de paquetes es de suma importancia el uso un protocolo de señalización, porque permite que los componentes de red se comuniquen entre sí, creen y finalicen llamadas.

En el caso de la telefonía IP, una llamada se define como una sesión multimedia entre 2 o más participantes, mientras la señalización asociada a una llamada se define como una conexión. El propósito de un protocolo de señalización puede ser dividido en 4 funciones básicas:

- Locación del usuario: el primero en llamar tiene que encontrar la locación del destinatario.
- Establecimiento de la sesión: el destinatario puede decidir si acepta, rechaza o transfiere la llamada.
- Negociación de la sesión: los 2 puntos extremos deben estar de acuerdo con el conjunto de propiedades para la sesión.
- Administración de los participantes: le permite a los puntos extremos unirse o dejar una sesión existente.

H.323 y SIP son 2 de los protocolos más conocidos en el área multimedia sobre una red IP. El primero fue desarrollado por la ITU-T, mientras que el segundo fue desarrollado por el IETF. Además de estos 2 bien conocidos, en los últimos años han surgido nuevos protocolos, tales como: IAX, MGCP, MeGaCo/H.248, etc. [1].

Actualmente la mayor parte de las llamadas de voz se realizan a través de la PSTN, sin embargo un problema a tomar en cuenta es la interacción entre los sistemas VoIP y la PSTN, además de transmitir información de voz, también se intercambia información de señalización. La PSTN utiliza el sistema de señalización 7 (SS7), el cual fue definido por la ITU-T. Por lo tanto la conexión entre PSTN y VoIP de manera directa no es factible. SS7 es el medio por el cual los elementos de las redes telefónicas intercambian información. Los mensajes de SS7, corren “fuera de banda” en canales dedicados por 2 razones. La primera es para tener

tiempos rápidos de establecimiento de llamadas, ya que no necesita tonos multifrecuencia de señalización. La segunda es por razones de seguridad. Las principales funciones del SS7 son el establecimiento, administración y terminación de las llamadas, sin embargo también provee otras funciones como reenvío de llamadas e identificador de llamadas. El SS7 tiene 3 tipos de terminales:

- Service Switching Points (SSPs): son los switches que conectan los circuitos de voz. Mandan mensajes de señalización a otros SSPs para establecer, administrar y liberar los circuitos de voz necesarios para completar una llamada.
- Signal Transfer Points (STPs): dirige el tráfico de red hacia un enlace de señalización de salida, basándose en la información que contienen los mensajes de SS7.
- Service Control Points (SCPs): proporciona SSPs con acceso a bases de datos para obtener información adicional de enrutamiento utilizando el procesamiento de llamadas.

Todos los terminales están conectados mediante enlaces de señalización. Estos enlaces se clasifican en 6 tipos diferentes, según el tipo de terminal que tengan conectado.

Debido a lo anterior se podría creer que no es posible el interfuncionamiento entre la PSTN y la red IP, pero existe un dispositivo de red llamado Gateway, el cual puede transferir llamadas y fax, en tiempo real, entre la red IP y la PSTN. Este dispositivo se puede dividir en 2 partes, "Media Gateway" y "Signalling Gateway". El primero comprime y empaqueta los datos de voz y entrega los paquetes comprimidos a la red IP en un extremo del terminal y en el lado opuesto hace los mismos pasos pero en el orden opuesto. El segundo provee interfuncionamiento transparente de la señalización entre la red conmutada por circuitos y la red IP. El "Signalling Gateway" puede terminar la señalización SS7 o puede traducirla y enviar mensajes sobre una red IP hacia un controlador de "Media Gateway" o hacia otro "Signalling Gateway" [1].

3.3.1 Protocolo H.323

H.323 es una recomendación de la ITU-T basada en la familia de estándares H.320. Actualmente la recomendación se encuentra en la versión 7 [13]. Inicialmente el protocolo (versión 1) fue diseñado para proveer señalización a sistemas de conferencia multimedia en ambientes LAN que no proveían calidad de servicio. Sin embargo, en la versión actual, ha evolucionado en un conjunto de especificaciones que definen la arquitectura completa y operación de un sistema de conferencia multimedia sobre redes de área amplia. Comparado con su primera versión, se ha convertido en una solución escalable que puede interoperar con redes administradas a gran escala [14].

La primera versión se ratificó en 1996, desde entonces varias revisiones han sido propuestas y aprobadas. De hecho H.323 no es una sola recomendación, es un conjunto de protocolos usado para dar soporte a aplicaciones de video, voz y datos. H.323 usa 3 tipos de señalización: (a) señalización de registro, admisión y estado (RAS), la cual administra las operaciones del usuario y del portador; (b) señalización de control de llamada; y (c) señalización de control de medios.

Las funciones de H.323 pueden ser divididas en 3 categorías:

- Locales: historial de llamadas, Agenda y cualquier otra función que pueda ser usada en el terminal. Incluyendo la necesidad de una señalización específica.
- Basadas en Red: autorización, admisión, etc. Esta característica requiere de un control centralizado.
- Servicios suplementarios: conjunto de servicios que requieren una señalización especial. Están dirigidas al usuario y se encargan de reforzar la llamada con funciones específicas, como son el reenvío de llamadas, transferencia de la llamada y terminación de la llamada. Las cuales son necesarias para el interfuncionamiento con PSTN [13].

En la Figura 7 se muestra un diagrama del funcionamiento básico de H.323.

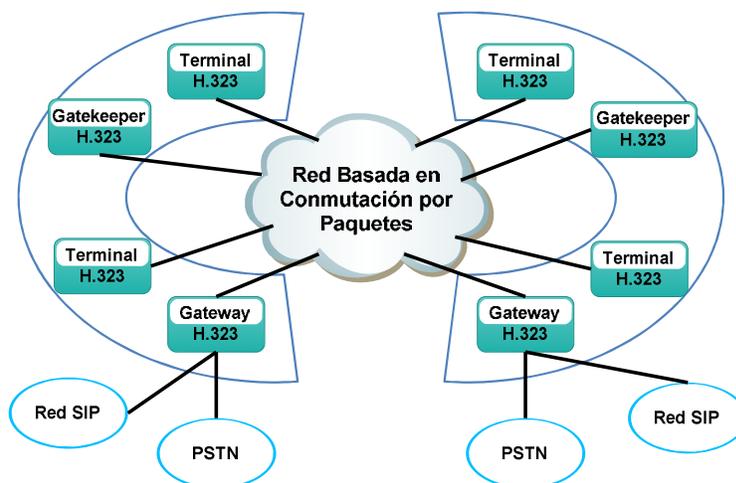


Figura 7 Sistema Básico de H.323 [14]

Arquitectura de Red H.323

Los principales elementos de H.323 son [13] (ver Figura 8):

Terminal: es el cliente en el punto extremo y debe soportar 4 protocolos, H.245, Q.931, RAS y RTP. RAS tiene 4 funciones básicas: ayudar al terminal a encontrar un Gatekeeper y registrarse con él y solicitarle permiso de admisión antes de comenzar una llamada. H.225 utiliza un subconjunto de mensajes y parámetros Q.931, realiza toda la señalización necesaria para establecer y mantener una conexión entre 2 terminales. Q.931 es transmitida sobre TCP. H.245 se utiliza para transmitir de extremo a extremo señalización de control de medios. Estos mensajes de control contienen información de las capacidades de cada terminal y definen procedimientos para el mapeo lógico de los canales. H.245 también define cuál de las terminales será “maestro” y cual será “esclavo”, lo cual es necesario para evitar conflictos que pueden ocurrir cuando 2 terminales inician un evento similar al mismo tiempo.

Gateway: es el dispositivo de red que proporciona comunicaciones bidireccionales en tiempo real, entre la red IP y la red telefónica tradicional.

Gatekeeper: encargado del control de llamadas y la administración de las políticas por zonas para cada terminal. Todas las terminales deben estar registradas con un gatekeeper. Las principales funciones de un Gatekeeper son:

- *Traducción del Alias:* la traducción de una dirección alias a una dirección de transporte.
- *Control de Admisión:* el acceso a una red puede ser aceptada o rechazada basándose en una autorización de llamada, la dirección de origen o destino. Para hacer esto utiliza los mensajes RAS, pero determina como serán utilizados los recursos de red.
- *Administración y Control del Ancho de Banda:* controla el número de terminales que pueden existir en una red al mismo tiempo.
- *Administración de Zonas:* las terminales, Gateway y MCUs (Unidades Multipunto) son administrados por un solo Gatekeeper.

Además de las funciones anteriores, también brinda algunas funciones opcionales:

- *Autorización de la llamada:* puede aceptar o rechazar llamadas basándose en muchos factores, como la hora del día y restringir acceso a una terminal o Gateway en particular.
- *Señalización del Control de la llamada:* puede decidir si va a procesar todas las llamadas de señalización asociadas a los terminales dentro de su zona o permitir que los terminales puedan intercambiar directamente mensajes de señalización entre ellos.
- *Administración de llamadas:* conserva información acerca del estado de las llamadas que están activas, como el ancho de banda utilizado. El redireccionamiento de las llamadas también está incluido en este servicio.

MCU: provee soporte para conferencias entre 3 o más terminales. Está compuesto por un Controlador Multipunto (MC) y uno o más Procesadores Multipunto (MP). El primero brinda control de conferencia, y el segundo se encarga de mezclar, intercambiar y procesar las cadenas de medios. En la Figura 8 se ilustran los componentes de una zona H.323.

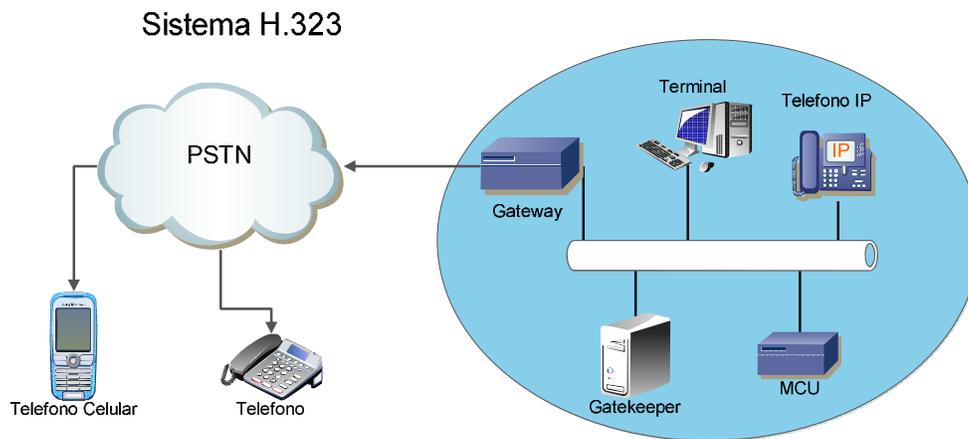


Figura 8 Principales Elementos de H.323 [1]

Servicios Suplementarios

La arquitectura H.323 ofrece 3 modelos para el control de servicios suplementarios: control de características distribuido (H.450), control de características de estímulo (H.323 Anexo L), y control de características de la capa de aplicación (H.323 Anexo K) [13]. El control de características distribuido, utiliza una función descentralizada, por lo tanto los servicios suplementarios hacen uso de la señalización H.450 sin la participación de un control de red centralizado. En el otro extremo, el control de la característica de estímulo se basa en un enfoque centralizado. En cuando al control de características de la capa de aplicación, este permite el desarrollo y despliegue de nuevos servicios sin necesidad de actualizar el protocolo H.323 y los terminales. Posteriormente, un servicio de control de sesión se puede establecer después de intercambiar la información relevante en los mensajes de RAS y H.225 [1].

Estados de la Llamada.

Aunque el proceso de establecer y mantener una llamada en una arquitectura de red H.323 es bastante complejo, puede descomponerse en cinco estados [1]:

- Descubrimiento y Registro
- Establecimiento de la llamada
- Flujo de la Señalización de la llamada
- Flujo de Medios y Control de Flujo de Medios

- Terminación de la llamada

Durante la etapa de descubrimiento y registro, el gatekeeper en el cual está registrada la terminal que hace la llamada, comienza a determinar cuál es el gatekeeper con el cual debe comunicarse la terminal. Una vez que todos los procedimientos de la etapa RAS se han concluido, continua la etapa del establecimiento de llamada, donde los gateways se comunican directamente para establecer la conexión. En la siguiente etapa, los gateways intercambian mensajes respecto a sus capacidades y se abre un canal de medios en cada dirección para la transferencia del flujo de medios a través del otro gateway. En la etapa de flujo de medios y control de flujos, el flujo de medios encapsulado por RTP es enviado a través de los enlaces creados en la etapa anterior. Junto con estos flujos de paquetes, la información de control de los flujos RTP también se intercambia mediante RTCP. Durante esta etapa los terminales buscan cambios en la cantidad de ancho de banda asignada inicialmente para cada flujo de medios.

Finalmente en la etapa de terminación, cuando una terminal o un gateway solicitan la terminación, se detiene el flujo de medios y se cierran los canales lógicos. Además los 2 gateways se liberan del gatekeeper mediante RAS [1].

3.3.2 Protocolo SIP

SIP (Protocolo de Inicialización de Session) es un protocolo de la capa de aplicación especificado inicialmente por IETF, definido en el RFC 2543 [15], "Multiparty Multimedia Session Control Working Group" (MMUSIC WG), en 1999 y actualizado por SIP WG en 2002. SIP es usado para crear, modificar y terminar sesiones de uno o más participantes, y fue diseñado para ser independiente de las subcapas del protocolo de transporte [14]. En la Figura 9 se muestra un diagrama básico del funcionamiento de SIP.

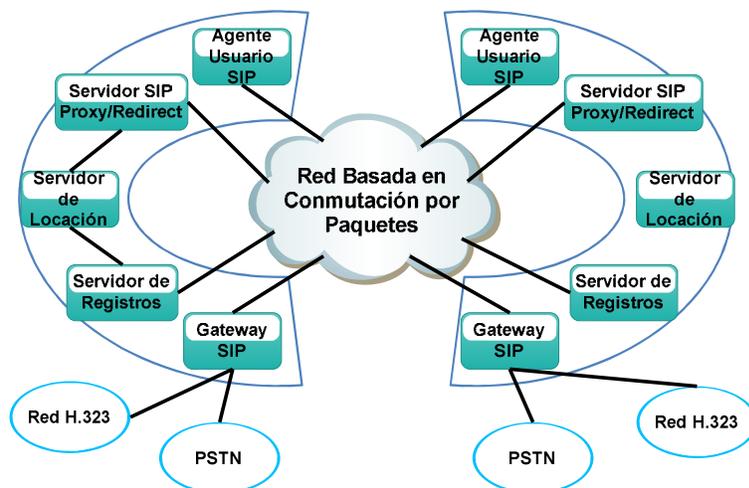


Figura 9 Sistema Básico SIP [14]

Las características de SIP también se dividen en 3 categorías, locales, basadas en red como autorización y servicios suplementarios. Las principales funciones de este protocolo son [15]:

- Locación de recursos/partes
- Invitación a las sesiones de servicios
- Negociación de los parámetros de sesión

Para enviar información acerca del contenido de medios de la sesión, SIP utiliza el protocolo de descripción de sesión (SDP). SIP es muy parecido al protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) y comparten algunos principios de diseño. En particular, adopta una arquitectura cliente\servidor (solicitud\respuesta) en la cual las solicitudes son generadas por el cliente y enviadas al servidor. El servidor procesa la solicitud y envía una respuesta al cliente. Al igual que HTTP, está basado en mensajes basados en texto.

Las solicitudes más importantes son INVITE, que es usada para invitar a un usuario a la llamada. El ACK que es enviado por el que realiza la llamada hacia al que quiere llamar, simplemente como acuse de recibo del INVITE. Por último el BYE que es usado para terminar la conexión entre 2 usuarios en una sesión. Adicionalmente también se pueden identificar otros tipos de solicitudes, CANCEL,

OPTIONS y REGISTER. La solicitud CANCEL, se usa para anular cualquier búsqueda de un usuario, sin embargo no libera una llamada en curso. La solicitud OPTIONS, solo consulta las funciones de los servidores. Por último, la solicitud REGISTRO se emplea para registrar un usuario con un servidor SIP [1].

Arquitectura de Red SIP

Los principales elementos son los agentes de usuario (UA) y los servidores de red. Los agentes de usuario son los terminales SIP, los cuales pueden hacer o recibir llamadas. Un agente de usuario puede funcionar en dos modos: agente de usuario cliente (UAC), el cual inicia las solicitudes SIP y el agente de usuario servidor (UAS) que recibe solicitudes y responde en nombre del usuario.

Un terminal SIP puede actuar como ambos, pero durante una transmisión solo puede funcionar de una forma, esto dependiendo de dónde se generó la primera solicitud.

Existen 4 tipos de servidores en una red SIP: servidor proxy, servidor de redireccionamiento, servidor de locación, y servidores de registros.

El primero recibe las solicitudes del UA y decide a cuál de los servidores debe ser reenviada. El servidor de redireccionamiento no reenvía las solicitudes, más bien notifica al que realiza la llamada la ubicación del destinatario o terminal llamado. Para hacer esto, tiene que contactar al servidor de locación, el cual tiene información de las posibles ubicaciones del terminal llamado. En cuanto a los servidores de registro, estos aceptan la solicitud REGISTER, y normalmente son colocados junto con los servidores proxy o de redireccionamiento. En SIP los gateways pueden ser empleados como puentes entre los terminales SIP y otros tipos de terminales [1]. En la Figura 10 se ilustran los componentes de un sistema SIP.

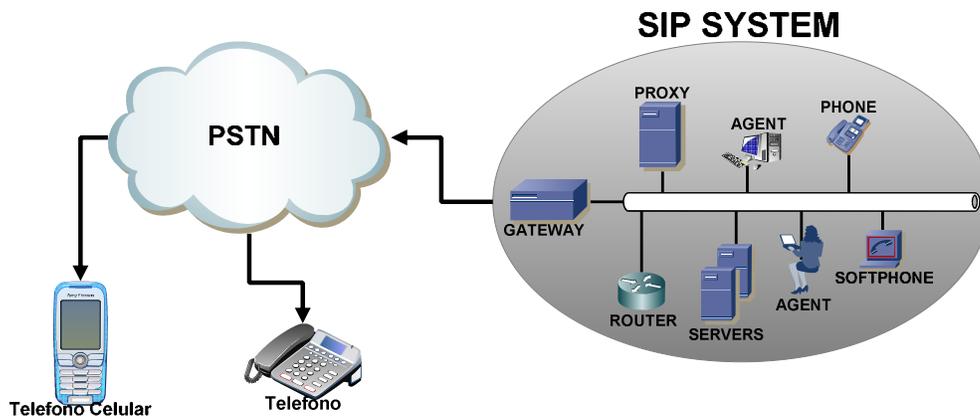


Figura 10 Principales Elementos de SIP [1]

Servicios Suplementarios

Aunque al principio fueron puestos a un lado, se han tomado medidas que han podido proveer un mecanismo para una gran cantidad de aplicaciones con nuevas características, sin embargo algunas de estas nuevas características necesitan extensiones de protocolo. También hay que destacar que SIP se basa en terminales inteligentes, el control de estímulos es considerado fuera del ámbito de SIP debido a su enfoque centralizado [15].

Estados de la llamada

El miembro que llama envía primero una solicitud INVITE al miembro llamado, esta solicitud atraviesa varios proxy server antes de alcanzar su destino. Cada proxy server que recibe la solicitud envía un mensaje de respuesta 180 TRYING, indicando que la solicitud está siendo procesada. Cuando el UAS que está siendo llamado recibe la solicitud empieza a “sonar” y luego envía un mensaje de respuesta 180 RINGING al UAC que está siendo llamado.

Los servidores proxy que reciben la respuesta 180 RINGING, la envían de regreso al que está haciendo la llamada. Cuando la llamada es aceptada por el destinatario se envía un mensaje de respuesta 200 OK al que está realizando la llamada. El UA del que realiza la llamada contesta a ese mensaje con un “acknowledge” (ACK), que es enviado directamente al destinatario. Entonces pueden comenzar la comunicación. Si el destinatario decide rechazar la llamada, entonces envía un mensaje 603 DECLINE, al que realiza la llamada. En caso de

que el destinatario este ocupado entonces envía el mensaje 600 BUSY. Cuando el usuario que llama desea terminar la llamada, se envía un mensaje BYE a través de los servidores proxy intermediarios para el destinatario, el cual luego contesta con un mensaje 200 OK para indicar que la solicitud ha cumplido su propósito [1].

Referencias

- [1] S. Karapantazis y F.-N. Pavlidou, VoIP: A comprehensive survey on a promising technology, *Computer Networks*, 53 (12) (2009) 2050-2090.
- [2] ITU-T, "G.711: Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies," Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 1993.
- [3] ITU-T, "G.723.1: Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2006.
- [4] ITU-T, "G.726: 40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 1990.
- [5] ITU-T, "G.728: Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2006.
- [6] ITU-T, "G.729: Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction (CS-ACELP)," Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2008.
- [7] 3GPP TS 26.204, "Speech CODEC speech processing functions; Adaptive Multi-Rate - Wideband (AMR-WB) speech CODEC; ANSI-C code", 2012.
- [8] IETF RFC 3951, "Internet Low Bit Rate CODEC (iLBC)", S. Andersen, A. Duric, H. Astrom, R. Hagen, W. Kleijn, J. Linden, Diciembre de 2004.
- [9] ITU-T, "G.722: 7 kHz audio-coding within 64 kbit/s", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2012.
- [10] ITU-T, "G.722.1: Low-complexity coding at 24 and 32 kbit/s for hands-free operation in systems with low frame loss", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2005.
- [11] ITU-T, "G.722.2: Wideband coding of speech at around 16 kbit/s using Adaptive Multi-Rate Wideband (AMR-WB)", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2003.
- [12] ITU-T, "G.729.1: G.729-based embedded variable bit-rate coder: An 8-32 kbit/s scalable wideband coder bitstream interoperable with G.729", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2006.

[13] ITU-T, "H.323: Packet-based multimedia communication systems", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2009.

[14] Pavlos Papageorgiou, A Comparison of H.323 vs SIP, University of Maryland at College Park, 4 Junio de 2001

[15] RFC 2543, SIP: Session Initiation Protocol, M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, J. Rosenberg, Marzo de 1999.

Capítulo 4 - Calidad de Servicio en VoIP

Las redes IP de nuestros días, no garantiza calidad de servicio, debido a que proporcionan un servicio de mejor esfuerzo. Sin embargo, las nuevas aplicaciones multimedia (voz, video, datos, etc), demandan cierto grado de calidad de servicio. La calidad de estos servicios se mide como la capacidad de experimentar la misma presentación de audio y/o video como si se realizara la comunicación de manera personal. Existe una gran diversidad de definiciones de calidad de servicio, una de las más importantes es la definida por la ITU-T.

Según la recomendación ITU – T Y.101 la define como [1]:

- Efecto colectivo de las diferentes calidades de funcionamiento del servicio que determinan el grado de satisfacción de un usuario del servicio.

La calidad de servicio en un sistema VoIP está en función de un conjunto de parámetros, sin embargo los que tienen mayor impacto son: retardo extremo a extremo (OWD), jitter y pérdida de paquetes (PLR).

4.1 Parámetros de calidad de servicio

4.1.1 Retardo

Existen 5 componentes que contribuyen al retardo:

- Retardo de codificación: Tiempo que tarda en codificar la señal de voz, esto depende del tipo de códec usado.
- Retardo de paquetización: tiempo que tarda en agregarse los encabezados al flujo de la señal de voz.
- Retardo de red: suma de retardos de transmisión, propagación y encolamiento.
- Retardo de reproducción: es causado por el buffer que almacena los paquetes que arriban en el lado del receptor para evitar el jitter.
- Retardo de decodificación: tiempo que tarda en decodificar la señal de voz.

Cuando los retardos son mayores a 150ms el usuario apenas notará un ligero retardo en la conversación, pero cuando exceden los 400ms los usuarios tienen que repetir constantemente sus palabras para poder entenderse, debido a los cortes de la conversación. Según la ITU-T y la ETSI, para tener una calidad total en la transmisión de voz, el retardo no deben exceder los 100ms.

El retardo OWD puede ser medido en función de estampas de tiempo y tiempos de arribo de los paquetes transmitidos en una comunicación de voz sobre redes IP. Sea S_K la estampa de tiempo RTP para un paquete K de tamaño L , y R_K es el tiempo de arribo en unidades de estampas de tiempo RTP del paquete K de tamaño L . Entonces el retardo extremo a extremo para dos paquetes K y $K-1$ quedará determinado mediante la siguiente ecuación:

$$OWD^K(L) = (R_K - S_K)$$

$$OWD^{K-1}(L) = (R_{K-1} - S_{K-1})$$

4.1

4.1.2 Jitter

El jitter es resultado de congestiones en la red, arribo de paquetes fuera de orden, encolamientos, pérdida de paquetes, etc. En el lado del transmisor, los paquetes son enviados a una tasa constante, pero en el lado receptor se pierde esa continuidad, sin embargo para poder reconstruir la secuencia inicial de los paquetes se debe conseguir la misma tasa constante en el lado del receptor.

Valores muy grandes de jitter provoca pérdida de paquetes que se manifestará como un vacío audible. El oído humano es intolerante a los vacíos en la voz a corto plazo, por tal motivo, los valores de jitter se deben mantener en valores mínimos. El jitter debe ser menor a 30 ms, sin embargo, a causa del retardo, el tipo de códec usado y el tamaño de los paquetes de voz, los valores entre 30ms y 75ms son considerados aceptados. El mecanismo utilizado para compensar el retardo jitter, es el “play-out buffer” o “de-jitter buffer”. Existen 2 tipos de de-jitter buffer, estático y dinámico, el estático se encarga de almacenar paquetes y

entregarlos a una tasa constante y el dinámico se encarga de ajustar el de-jitter buffer basándose en el historial del retardo jitter.

Una factor a considerar, es la relación que existe entre el retardo proporcionado por el de-jitter buffer o el tamaño del de-jitter buffer y la cantidad de paquetes perdidos; un tamaño grande de de-jitter buffer reducen la cantidad de paquetes perdidos, sin embargo incrementa el retardo extremo a extremo, por otro lado, si se reduce el tamaño del de-jitter buffer, la cantidad de paquetes perdidos aumenta [2].

De igual forma como se mide el retardo OWD, el jitter puede ser medido en función de estampas de tiempo y tiempos de arribo de los paquetes transmitidos en una comunicación de voz sobre redes IP. Sea S_K la estampa de tiempo RTP para un paquete K de tamaño L , y R_K es el tiempo de arribo en unidades de estampas de tiempo RTP del paquete K de tamaño L . Entonces el jitter de OWD $J^K(L)$ para dos paquetes consecutivos K y $K-1$ quedará determinado mediante la siguiente ecuación:

$$J^K(L) = OWD^K(L) - OWD^{K-1}(L) \quad 4.2$$

o

$$J^K(L) = (R_K - S_K) - (R_{K-1} - S_{K-1}) \quad 4.3$$

reordenando términos, tenemos:

$$J^K(L) = (R_K - R_{K-1}) - (S_K - S_{K-1}) \quad 4.4$$

donde, $IAT(K, K-1) = (R_K - R_{K-1})$ es el tiempo de inter-arribo y $IDT(K, K-1) = (S_K - S_{K-1})$ es el tiempo de inter-partida o jitter de arribo. Por tanto el jitter de arribo en función del jitter de OWD está determinado por:

$$IAT(K, K-1) = J^K(L) + IDT(K, K-1)$$

4.5

4.1.3 Pérdida de Paquetes

La cantidad de paquetes perdidos es otro parámetro muy importante, para que un sistema VoIP proporcione buen nivel de calidad de servicio al usuario final, la relación de paquetes entregados debe de ser del 99%. La pérdida de paquetes se debe a muchas razones, congestiones en la red, que el router reciba una ráfaga de paquetes que no logra manejar, si un paquete llega muy tarde para ser reproducido, etc. Además de estas razones, para un sistema inalámbrico, las variaciones en la potencia de la señal y las condiciones de degradación que sufre ocasionan una gran cantidad de paquetes perdidos. VoIP es bastante robusto ya que puede soportar tasas de error de bit (BER) de hasta 10^{-5} , pero para tasas mayores la voz se vuelve inentendible.

Estos errores de bits pueden dañar los paquetes de señalización, causando errores en la llamada, resultando en la degradación de la calidad de la voz. La degradación de la señal puede ocasionar daños en los encabezados IP o en el "payload" o carga útil (muestras de voz), en el primer caso el router descarta los paquetes, mientras que para el último caso el payload no puede ser decodificado con éxito, lo que resulta en la pérdida de tramas de voz.

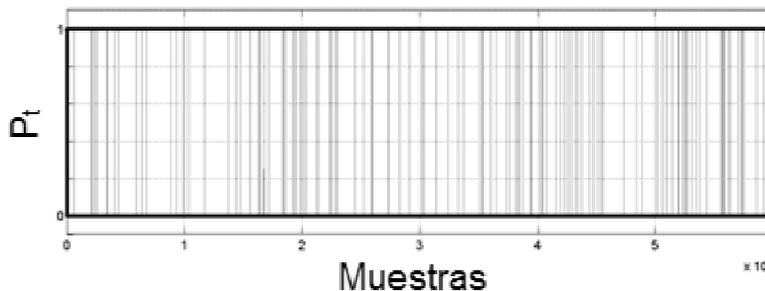
De manera general, en sistemas de comunicación, los porcentajes permisibles de pérdida de paquetes son de 1% o menos, para lograr una muy buena calidad o del 3% para lograr una calidad media. En sistemas VoIP la calidad de voz es aceptable si tiene menos del 1.5% de pérdida de paquetes [3].

Para contrarrestar la pérdida de paquetes, se han implementado técnicas de corrección de error (FEC), el cual utiliza un algoritmo definido para crear redundancia en la información que se envía, con esto le permite al receptor detectar y corregir los errores dentro de un límite. Sin embargo los beneficios de estos métodos se ven opacados por los aumentos en el retardo de procesamiento y bitrate que provocan.

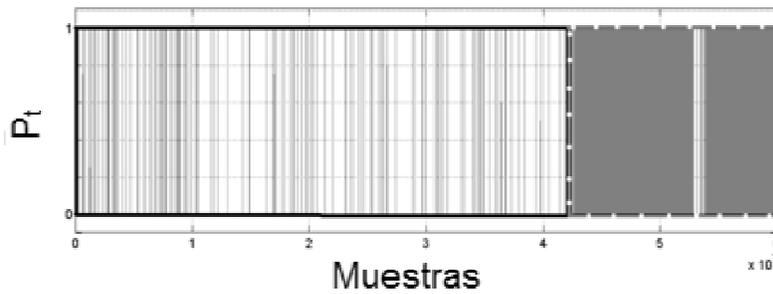
Para complementar las técnicas de FEC, hay algunos CODECs de voz que emplean sus propios métodos de cancelación de errores, como son la “redundancia de paquetes” y la “supresión de silencios”. Sin embargo estos métodos son más efectivos para tasas de pérdida de paquetes del 2% o menos [2].

La pérdida de paquetes se representa comúnmente como un número porcentual, sin embargo, este valor no proporciona información de cómo se presentaron las pérdidas en función del tiempo. En las redes IP, las pérdidas se pueden presentar de dos formas: de manera no consecutiva o independiente y de manera consecutiva o dependiente (a ráfagas). Una forma de saber cómo se presentaron las pérdidas en una comunicación de voz sobre redes IP, es mediante una representación binaria (vectores de pérdida). Sea $P = \{P_t : t = 1, \dots, N\}$, donde $P_t = 1$ representa un paquete perdido, $P_t = 0$, representa un paquete recibido y N es la longitud de los paquetes enviados desde el transmisor.

De esta manera, si graficamos los vectores de pérdida en cada comunicación, podremos conocer la información referente a cómo se presentaron las pérdidas en función del tiempo. La Figura 11 muestra la representación gráfica de vectores de pérdida correspondiente a una comunicación donde se presentó la pérdida de manera no consecutiva (Figura 11 (a)) y donde se presentó de manera consecutiva o a ráfagas (Figura 11 (b)).



(a) Pérdidas no Consecutivas



(b) Pérdidas Consecutivas

Figura 11 Vectores de Pérdida de Paquetes

Umbral de los Parámetros de Calidad de Servicio

Debido a la importancia que tienen los parámetros de QoS en una red VoIP, se han hecho diversos estudios de los mismos, basado en algunos de estos estudios se ha podido determinar ciertos umbrales, como se ilustra en las Tablas 7,8 y 9.

Tabla 7 Umbrales del Retardo [1]

Retardo	Calidad de Voz
0 – 150ms	Buena
150 – 400ms	Aceptable
>400ms	Mala

Tabla 8 Umbrales del Jitter [3]

Jitter	Calidad de Voz
0 – 20ms	Buena
20 – 50ms	Aceptable
>50ms	Mala

Tabla 9 Umbrales de la Pérdida de Paquetes [3]

Pérdida de Paquetes	Calidad de Voz
---------------------	----------------

0 – 0.5%	Buena
0.5 – 1.5%	Aceptable
>1.5%	Mala

4.2 Mecanismos de QoS

Si todas las redes tuvieran recursos infinitos no habría necesidad de utilizar mecanismos para garantizar la calidad de servicio. Desafortunadamente, éste no es el caso. Existen algunas restricciones en los recursos de red que no pueden evitarse. Las restricciones incluyen limitaciones tecnológicas, costos y disponibilidad local del servicio de alto ancho de banda.

Un mecanismo de QoS define las propiedades que debe tener un servicio y que éste ofrece a las aplicaciones que lo usan. Existen principalmente dos mecanismos que proporcionan calidad de servicio. La primera se basa en la reserva, y asigna recursos basándose en flujos de tráfico. Alternativamente, un segundo tipo de calidad de servicio se caracteriza por la priorización de determinado tipo de tráfico [4].

En general se puede hablar de dos mecanismos, servicios integrados (IntServ) y servicios diferenciados (DiffServ).

4.2.1 Servicios Integrados (IntServ)

El modelo de servicios integrados intenta integrar todos los tipos de tráfico posibles en una misma red de uso general [3].

Basado en la utilización de algún protocolo de reserva (RSVP) que permite la reserva de recursos a lo largo de los routers implicados en la comunicación. El principal problema de este modelo es la necesidad de mantener información sobre cada flujo en todos los routers de la red, lo cual lleva a problemas de escalabilidad [4].

En la arquitectura IntServ que proporciona el protocolo RSVP, se definen dos clases de servicio distintas:

- Servicio garantizado (Guaranteed Service): Es muy parecido a la emulación de un circuito virtual dedicado, de modo que asegura que los datos llegarán dentro de los límites de retardo previstos, así como la disponibilidad del ancho de banda especificado en los parámetros de tráfico y que los paquetes no serán descartados debido a sobrecargas en las colas de los nodos intermedios.
- Servicio de carga controlada (Controlled Load): Es el equivalente al servicio best-effort en condiciones de carga baja de la red, por lo que el flujo de datos no se ve afectado por incrementos de carga en la red. Por tanto, es mejor que el servicio best-effort, aunque no puede asegurar ningún tipo de límite en el retardo extremo a extremo.

El protocolo de reservación de recursos es un protocolo de control de red que permite que algunas aplicaciones de Internet o una red local puedan obtener diferentes calidades de servicio para su flujo de datos [5]. Por ello se conoce como un protocolo de señalización de QoS. La señalización RSVP se inicia en un determinado host que solicita a la red un determinado nivel de QoS, que genera un flujo de datos originado por una aplicación. Los routers presentes en el trayecto del flujo de datos procesan los mensajes RSVP y establecen el estado para proveer el servicio requerido.

Los mensajes primarios usados por RSVP son el mensaje "Path" que tiene su origen en el emisor, y el mensaje "Resv", que tiene su origen en el receptor:

- Mensaje "Path": Su objetivo es, primero instalar un estado del encaminamiento inverso a través de la ruta, y segundo proporcionar a los receptores información sobre las características del tráfico a enviar y de la ruta para que se puedan hacer las peticiones de reserva adecuadas.

- Mensaje “Resv”: Realizan las peticiones de reserva a los routers a lo largo de la ruta trazada por los mensajes “Path’s” entre receptores y emisores.

A grandes rasgos, la señalización RSVP, se lleva a cabo de la siguiente manera:

El emisor caracteriza el tráfico que va a enviar y genera un mensaje “Path” que contiene dichas características (Traffic Specification), y lo envía desde el emisor a la dirección de destino. Cada router dotado con capacidad para gestionar el protocolo RSVP a lo largo del trayecto, establece un determinado estado (Path-state) que incluye la dirección previa del mensaje “Path”.

Para realizar la reserva, el receptor envía la petición hacia el emisor mediante un mensaje “Resv”, por el camino por el cual ha llegado el mensaje “Path”. Este mensaje “Resv” incluye las especificaciones de la petición de reserva (Rspec, Request Specification), es decir, indica el tipo de clase de servicio IntServ deseado (carga controlada o garantizado) y también las especificaciones del filtro (filter spec), que caracterizan a los paquetes para los que se realiza la reserva, esto es debido a que en la reserva de recursos en un router se asignan ciertos recursos a la entidad que hace la reserva, pero no determina qué paquetes pueden usar estos recursos. Los routers usan conjuntamente las especificaciones de reserva y de filtro para identificar a cada reserva, y a ambos parámetros juntos se denomina descriptor del flujo (flow-descriptor) de la sesión.

Cuando cada router a lo largo del camino de vuelta hacia el emisor recibe un mensaje RSVP, se utiliza el proceso de control de admisión para autenticar la petición y reservar los recursos necesarios. Si la petición no se puede satisfacer (por falta de recursos o por falla de autenticación), el router devuelve un mensaje de error hacia el receptor. En caso contrario, si se acepta la petición se crea un estado de reserva (Resv-state), y el router envía el mensaje “Resv” al siguiente router en dirección al emisor.

Cuando el último router recibe el mensaje "Resv" y acepta la petición, devuelve el mensaje de confirmación hacia el receptor.

Cuando el emisor o el receptor finalizan una sesión RSVP, existe un proceso similar para liberar los recursos reservados (tear-down-process).

En la Figura 12 se muestra de forma muy simplificada el intercambio de mensajes RSVP, específicamente mensajes "Path's" y "Resv's" entre un emisor y dos receptores (A y B), indicándose que la reserva representada por el mensaje "Resv" 2 prevalece sobre la reserva representada por el mensaje "Resv" 1, de manera que esto sugiere que la reserva solicitada por el receptor A es mayor que la solicitada por el receptor B.

Esto es, la reserva "mayor" prevalece sobre la reserva "menor", así el router B sólo solicita al router A la mayor de las dos solicitudes de reservas a él llegadas desde el router C (originada por el receptor A) y desde el receptor B. Esto es una característica de RSVP.

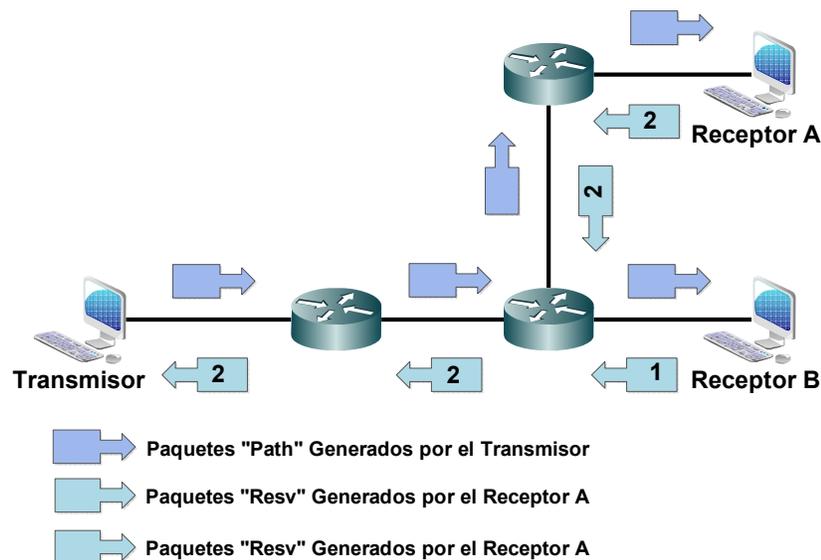


Figura 12 Protocolo RSVP

4.2.2 Servicios Diferenciados (SiffServ)

En este modelo, la red clasifica el tráfico en distintas clases y les aplica una disciplina de servicio diferenciada con el objetivo de proporcionar distintos niveles de calidad de servicio [1]. En este caso no se reservan recursos por lo que no se puede garantizar a priori una calidad de servicio. De este modo, se pueden tener varias clases de servicio para tiempo real, con varios niveles de retardo. El cliente escogerá el tipo de servicio en función del tráfico a transmitir y por supuesto, el precio que quiera pagar.

Otra de las ventajas de este modelo es su menor complejidad de implementación y su fácil integración con los protocolos IP, en el que cada paquete puede ser marcado con la clase de servicio que requiere. Esta marca será utilizada por los routers para diferenciar el servicio por paquete.

4.3 Evaluación de Calidad de Servicio

Como las redes IP no fueron diseñadas para transportar el tráfico de voz, es muy importante que los sistemas VoIP sean sometidos a muchas pruebas para evaluar su desempeño. Las pruebas se clasifican en subjetivas y objetivas [2].

4.3.1 Evaluaciones Subjetivas

Los subjetivos se basan en la opinión de un grupo de personas a los cuales se les pide que den una calificación de las voces que escuchan, masculina y femenina, a través del medio que se está evaluando. En base a esto se calcula el Mean Opinion Score (MOS).

MOS

El MOS es un promedio de todos los votos y se expresa en un número entre 1 y 5. Siendo 1 la calidad más baja que se produjo y 5 la calidad más alta producida, como se muestra en la Tabla 10. Sin embargo la validez de los resultados obtenidos con las pruebas subjetivas son cuestionadas, dado que este tipo de pruebas sufren muchos problemas y limitaciones.

En primer lugar se necesita de mucho tiempo para realizar la prueba, mientras que la falta de un lugar “estándar” en donde se lleve a cabo puede afectar la reproducibilidad o la capacidad de la prueba para predecir la satisfacción del cliente. Por otra parte este es el método ideal para examinar el impacto de diversos parámetros de la calidad de voz, además de que es un método de evaluación barato y fácil de realizar [2].

Tabla 10 Niveles de Calidad en la Escala MOS [6]

MOS	User`s Satisfaction
4.34 - 4.50	Very satisfied (Muy Satisfecho)
4.03 - 4.34	Satisfied (Satisfecho)
3.60 - 4.03	Some users are dissatisfied (Algunos Usuarios están Insatisfechos)
3.10 - 3.60	Many users are dissatisfied (Muchos Usuarios están Insatisfechos)
1.00 - 3.10	Nearly all users are dissatisfied (Casi Todos los Usuarios están Insatisfechos)

4.3.2 Evaluaciones Objetivas

Los métodos objetivos se basan en mediciones físicas del sistema, como lo son el retardo extremo a extremo, jitter y la pérdida de paquetes. Normalmente, esto se puede lograr ya sea mediante la inyección de una señal de prueba en el sistema o mediante el monitoreo de tráfico en tiempo real. A diferencia de los métodos subjetivos, los métodos objetivos se pueden realizar en varias ocasiones para evaluar el desempeño de un sistema utilizando diferentes grupos de parámetros.

Los métodos objetivos se dividen en 2, intrusivos y no intrusivos, en el primero se inyecta una señal de prueba, en el segundo caso se analiza el desempeño de una

transmisión real. Los métodos no intrusivos permiten un mayor número de pruebas sin sobrecargar la red, sin embargo estas medidas son más difíciles de desarrollar y por lo general menos precisas [2].

PSQM

Este es el primer método objetivo, desarrollado por KPN. Fue usado para evaluar los primeros sistemas de celular. Los valores de este método van de 0 a 6.5. Este método es usado para evaluar la calidad de la voz en entornos sin errores de bit o trama. Por lo que no es indicado para evaluar redes, sino CODECs. Fue sustituido en 2011 por el PESQ.

PAMS

Fue desarrollado por British Telecom, fue el primero en proveer una evaluación robusta para VoIP. Este método repetitivo da un valor basado en la comparación de una señal de alta calidad con la señal de voz evaluada. Sus valores de resultado van del 1 al 5.

PESQ

Este método de tipo intrusivo fue desarrollado por la British Telecom y la KPN. PESQ combina el excelente modelo psico-acústico y cognitivo de los PSQM con un algoritmo de alineación de tiempo adoptado de PAMS que es capaz de manejar diversos retrasos perfectamente. Lo que hace este método es comparar la transmisión recibida con la transmisión inicial usando un modelo de audición perceptivo, que es una réplica del aparato auditivo humano. Sus valores de resultado van de 1 a 4.5.

Modelo E

Se ha convertido en la herramienta mundial más usada para la evaluación objetiva de la calidad de la voz. Este modelo se basa en la suposición de que los deterioros causados por los parámetros de transmisión, tienen un efecto aditivo sobre la calidad de la conversación. Los valores de este modelo van de 0 que es la peor calidad hasta 100 que es la máxima calidad. También puede ser usada

para medir otros parámetros de red como son los códec de voz y la utilización máxima del enlace.

El modelo E está especificado en la recomendación ITU-T G.107 y estipula que la calidad de la voz puede evaluarse a través del parámetro R , definido como:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A \quad 4.6$$

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

el término R_0 hace referencia a la relación señal-ruido mientras que I_s modela la degradación que sufre la señal como consecuencia de su conversión a un formato adecuado para su transmisión por la red. Los otros tres términos son el efecto de las pérdidas y el uso de un CODEC (I_e); del retardo (I_d); y el margen de seguridad (A). Una vez que el códec a usar es bien conocido, solo es necesario las estadísticas de OWD y pérdida de paquetes para poder estimar la calidad mediante el factor R de acuerdo a la ecuación dada en [6] como sigue:

$$R = 93.2 - I_d(OWD) - I_e(CODEC, PLR) \quad 4.7$$

donde:

$$I_d = 0.024(OWD) + 0.11(OWD - 177.3)y(OWD - 177.3) \quad 4.8$$

$$y(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

$$I_e(G.711) \sim 0 + 30 \ln(1 + 15PLR) \quad 4.9$$

$$I_e(G.729) \sim 11 + 40 \ln(1 + 10PLR)$$

Por otro lado, la relación entre el factor R y el MOS, está dada por:

$$\begin{aligned}
 &MOS = 1; && R < 0 && 4.10 \\
 &MOS = 1 + 0.035R + 7 \cdot 10^{-6} R(R - 60)(100 - R); && 0 \leq R \leq 100 \\
 &MOS = 4.5; && R > 100
 \end{aligned}$$

Típicamente, los valores del factor R están categorizados como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11 Rango de Valores del Modelo E

Factor R	MOS	Calidad	Nivel de satisfacción
$90 \leq R < 100$	4.34 - 4.50	Óptima	Muy satisfecho
$80 \leq R < 90$	4.03 - 4.34	Alta	Satisfecho
$70 \leq R < 80$	3.60 - 4.03	Media	Algunos usuarios están insatisfechos
$60 \leq R < 70$	3.10 - 3.60	Baja	Muchos usuarios están insatisfechos
$0 \leq R < 60$	1.00 - 3.10	Pobre	Casi todos los usuarios están insatisfechos

P.563

Creado recientemente por Psytechnics, OPTICOM and SwissQual, este método es de tipo no intrusivo y a diferencia de PSQM y PEQM, no se necesita una señal de prueba, puede ser aplicada todo el tiempo para monitorear la calidad de la red. Sin embargo todavía es necesario utilizar un método intrusivo en conjunto, ya que estos brindan datos más precisos.

En la Figura 13 podemos ver las diferentes escalas de las pruebas subjetivas y objetivas.

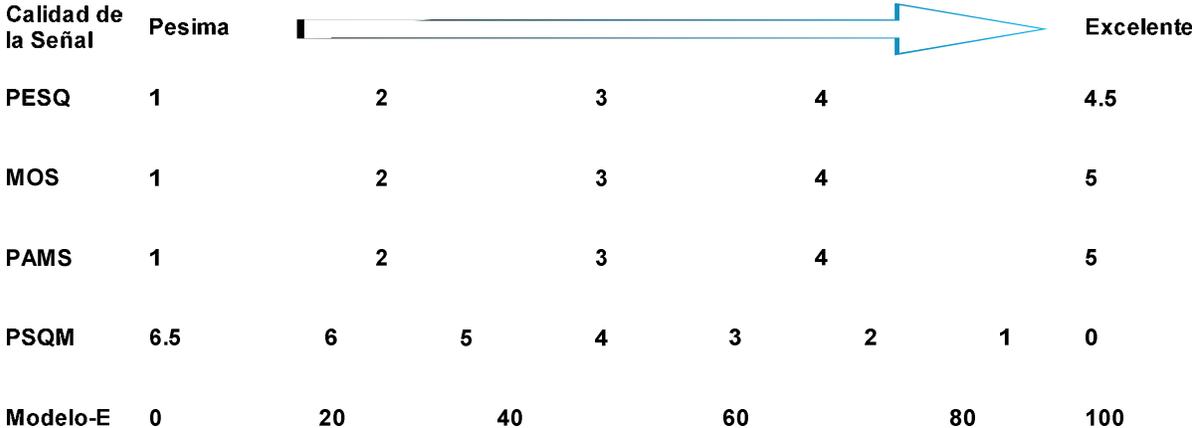


Figura 13 Escala Comparativa PSQM, MOS, PAMS, PESQ, E-Model [1]

Referencias

- [1] ITU-T, "Y.101: Global Information Infrastructure terminology: Terms and definitions", Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2000.
- [2] S. Karapantazis y F.-N. Pavlidou, VoIP: A comprehensive survey on a promising technology, *Computer Networks*, 53 (12) (2009) 2050-2090.
- [3] P. Calyam, M. Sridharan, W. Mandrawa y P. Schopis, Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic, The 5th annual Passive & Active Measurement Workshop - PAM, Springer in the Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Antibes Juan-les-Pins, France, April 19-20, 2004, p.p. 137-146.
- [4] G. Fiche & G. Hébuterne, *Communicating Systems & Networks: Traffic & Performance*, Kogan Page Science, Capitulo 1 London and Sterling, VA, 2004.
- [5] S. Ahson y M. Ilyas, *WiMAX Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Capitulo 2, Boca Raton, FL, 2008
- [6] ITU-T, "G.107: The E-Model, a computational model for use in transmission planning," Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2009.

Capítulo 5 - Medición de Parámetros de QoS

En este capítulo se presenta una metodología para la medición del tráfico en una red VoIP inalámbrica. En base a estas mediciones se realizó el análisis y caracterización de tráfico en la red bajo cuestión. Para llevar a cabo esta tarea, se generó tráfico VoIP mediante el establecimiento de un conjunto de llamadas de prueba con una aplicación VoIP en software. Posteriormente se capturó el tráfico VoIP generado, mediante el analizador de protocolos de red Wireshark [1] para obtener un conjunto de patrones de tráfico o trazas (series de tiempo). El principal objetivo de estas mediciones fue coleccionar un conjunto de patrones de tráfico, tales como: jitter de arribo, pérdida de paquetes y retardo extremo a extremo.

Para coleccionar diversos conjuntos de trazas, las llamadas de prueba realizadas se llevaron a cabo bajo diferentes configuraciones en función de CODEC, como se muestra en la Tabla 12.

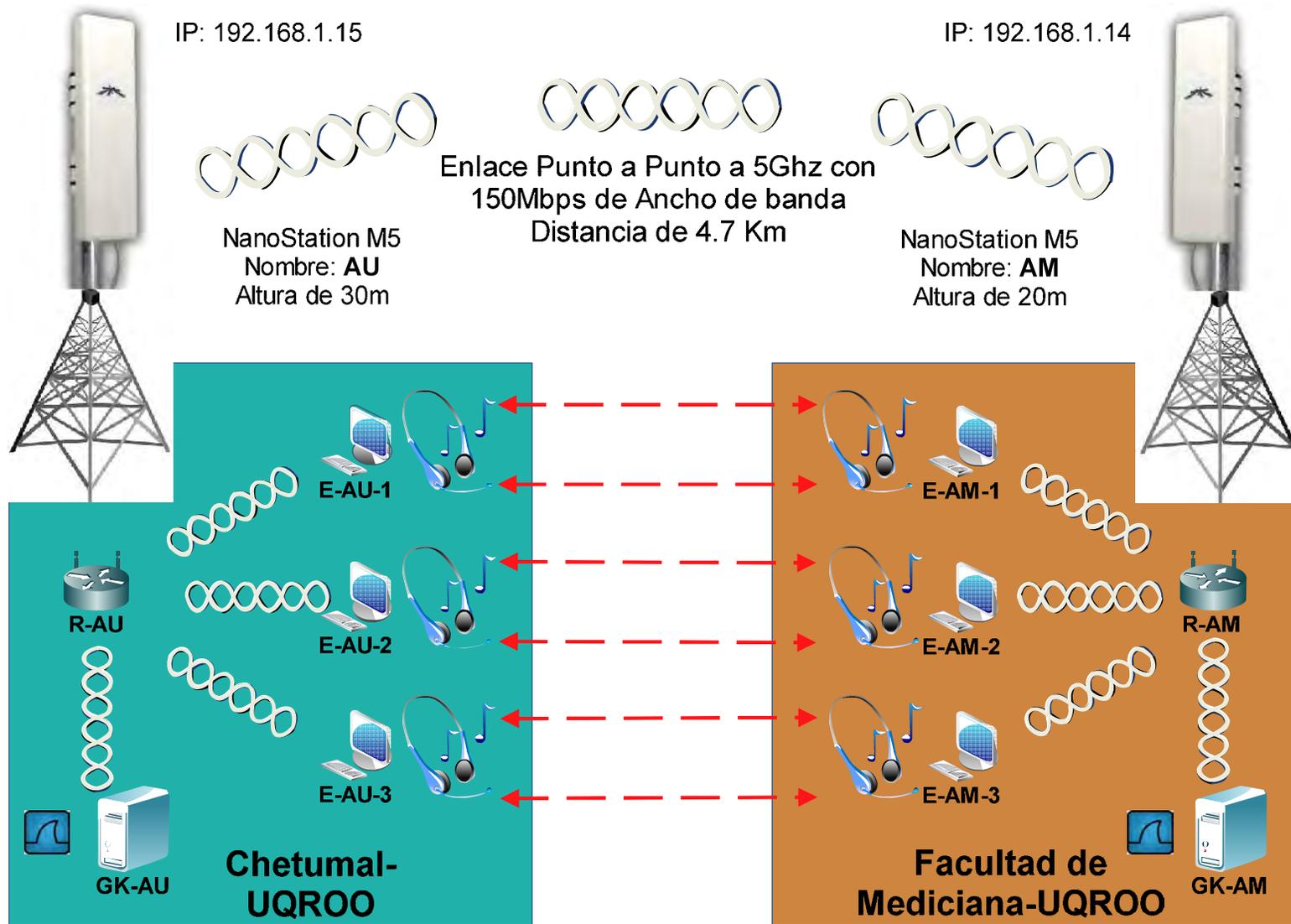
Tabla 12 Configuraciones de Llamadas de Prueba

Longitud de trazas (muestras)	Longitud de paquetes de voz (ms)	Longitud de paquetes de voz (Bytes)	
		G.711	GSM
180,000	20	160	20

Como se ilustra en la Tabla 9, las llamadas de prueba se realizaron bajo dos esquemas de codificación de voz, G.711 y GSM. Cada llamada de prueba tuvo duración de una hora.

5.1 Escenarios de medición

El escenario de medición en el cual se midió el tráfico VoIP está formado por dos redes Inalámbricas de área local (WLAN), interconectadas punto a punto mediante 2 antenas MIMO, como se muestra en la Figura 14. WLAN "A": Red Campus Chetumal-UQROO (120MBPS) y WLAN "B": Red Facultad de Medicina-UQROO (120MBPS).



AU: Antena Universidad; AM: Antena Medicina; GK: Gatekeeper; E: Endpoint; R: Router

Figura 14 Escenario de Medición

La Figura 14 muestra una arquitectura H.323 formada por dos zonas interconectadas a través de un enlace punto a punto. Cada zona está compuesta por un Gatekeeper (GK), y terminales H.323 (TE), interconectados a un Router vía una WLAN. El router a su vez está conectado a una antena MIMO (AU), la cual se encuentra montada en la torre de comunicaciones del Centro de Tecnologías de la Información y la Comunicación (CTIC), esta antena se comunica a otra antena MIMO (AM) montada en la torre de comunicaciones de la Facultad de Medicina UQROO. La zona "A" está conformada por los terminales E-AU-1, E-AU-2, y E-AU-3, esta zona es administrada por el GK-AU; en esta zona se instaló el analizador de protocolos de red Wireshark para coleccionar las trazas. La zona "B" está compuesta por los terminales E-AM-1, E-AM2, y E-AM-3, y el GK-AM.

Los gatekeepers utilizados en esta tesis fueron implementados mediante software, haciendo uso del proyecto GNU Gatekeeper [2] el cual es un proyecto de código abierto que implementa un Gatekeeper H.323.

5.1.1 Características de los Equipos

La Red cuenta con:

- 8 Computadoras
- 8 Tarjetas de Red USB
- 2 Routers Inalámbricos
- 2 Antenas MIMO que trabajan a 5GHz, con un alcance de hasta 10Km

Antena Ubiquiti NanoStation M5 [3]

- 5GHz Hi Power 2x2 MIMO AirMax TDMA Station.
- Más de 150Mbps
- Alcance de 15Km
- 2x2 MIMO
- Antena de 16dBi con 500mW de potencia
- Trabaja con 5GHz de Frecuencia
- SISTEMA
- Procesador: Atheros MIPS 24KC, 400MHz

- Memoria: 32MB SDRAM, 8MB Flash
- Interfaz de Red: 2 x 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Interface Ethernet
- Conformidad ROHS: SI
- Tamaño de la caja: 29.4 cm x 8 cm x 3cm
- Peso: 0.4kg
- Características de la caja: Exterior, Plástico UV estabilizado
- Kit de Montaje: Kit de montaje en mástil incluido
- Máximo consumo de energía: 8 Watos
- Alimentación: UBIQUITI POE-2412W Fuente de alimentación PoE incluido
- Tipo de Alimentación: PoE pasivo (pares 4,5+; 7,8 retorno)
- Temperatura Operación: -30C a +80C
- Humedad Operación: 5 a 95% de Condensación
- Rango de Frecuencia: 4.9-5.9 GHz
- Ganancia: 14.6-16.1dBi
- Polarización: Lineal Dual
- Aislamiento de Polaridad: 22dB Mínimo
- Frecuencia: 5470MHz-5825MHz

Router Inalámbrico Belkin N600 DB [4]

- Transmisión de doble banda (Dual Band)
- Hasta 600Mbps (hasta 300 Mbps (2,4GHz) + 300 Mbps (5 GHz))
- Tecnología MultiBeam: Cobertura total para varios dispositivos
- 1 puerto USB: Para la impresión o el almacenamiento inalámbrico
- 4 puertos LAN Ethernet: Para conexiones de red cableadas rápidas y fiables
- Diseño de la antena: Interna e integrada
- Adaptadores/cables incluidos: Fuente de alimentación y cable de red
- Compliant Standard(s): IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y IEEE 802.11n, Mac y WiFi
- Ancho de banda: radio dual concurrente 2,4 GHz y 5 GHz ISM
- Compliant Standard(s): IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y IEEE 802.11n

- Conmutador integrado: Conmutador de 4 puertos
- Tipo de conector(s): USB de 4 patillas tipo A (1)
- Tipo de Interfaz: RJ-45 (LAN)
- Interfaz: Ethernet 10Base-T/100Base-TX (4)
- N° máx. de conexiones WLAN: 16
- Navegadores compatibles para gestión remota: Firefox® y Safari®
- Protocolo de conmutación: Ethernet
- Protocolo de enrutamiento: Enrutamiento de IP estática
- Protocolo de gestión remota: HTTP y HTTPS
- Protocolo(s) de enlace de datos: Ethernet, Fast Ethernet, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y IEEE 802.11n
- Protocolos de ISP compatibles: Estática (IPoA), PPPoA, PPPoE
- Velocidad de transferencia de datos: 300 Mbps
- Método(s) de autenticación: Identificación de conjunto de servicios de radio (SSID)
- Seguridad por pulsador WPS: Si
- Tipo(s) de encriptación compatible(s): WPA de 256 bits, WEP de 64 bits y WPA2
- Tipo(s) de firewall compatible(s): NAT y SPI

Adaptador de Red Inalámbrico Linksys WUSB600N [5]

- Transmisión de doble banda (Dual Band - 2.4GHz y 5GHz)
- Hasta 300Mbps
- Estándares: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, versión IEEE 802.11n con tecnología MIMO.
- Luces: Enlace/Actividad.
- N° de antenas: 2 antenas internas.
- Potencia de transmisión: Wireless-N de 2,4 GHz a 16 dBm; Wireless-N de 5 GHz a 16 dBm.
- Sensibilidad de recepción: Wireless-N de 2,4 GHz a -91 dBm; Wireless-N de 5 GHz a -91 dBm.

- Ganancia de la antena en dBi: Inalámbrico de 2,4 GHz: 2 dB +/-1 dB; Inalámbrico de 5 GHz: 4 dB +/- 1 dB.
- Consumo de energía: TX < 480 mA (máximo); RX < 300 mA (máximo).
- Chipset: Ralink RT3572
- Funciones de seguridad: WEP, WPA, y WPA2

En la Tabla 13 se analizan las características que tienen en común los equipos utilizados durante este proyecto.

Tabla 13 Características Comunes en los Equipos Utilizados

Características en Común	Antena Ubiquiti NanoStation M5 [3]	Router Inalámbrico Belkin N600 DB [4]	Adaptador de Red Inalámbrico Linksys WUSB600N [5]
Frecuencia de transmisión	5GHz	5GHz/2.4GHz	5GHz/2.4GHz
Velocidad de Transmisión	300Mbps/ 150Mbps	300Mbps/ 50Mbps	300Mbps/150Mbps
Tecnología MIMO	Si	Si	Si
Múltiples Antenas	Si	Si	Si
Numero de antenas	2	4	2
Configuración de Antenas MIMO	2x2	4x2	2x2
Tecnología Dual-Band	No	Si	Si
802.11n	No	Si	Si
Encriptación	WEP, WPA, y WPA2	WEP, WPA, y WPA2	WEP, WPA, y WPA2
Administración Remota	Si	Si	No
Interfaz de Administración	Web	Web	No
Interfaz Alámbrica	Si	Si	No

Tipo de Interfaz alámbrica	Ethernet, Auxiliar	4 x Ethernet, USB	No
Software Adicional	No	Asistente de Configuración	Administrador de Redes Inalámbricas, Cisco Network Magic

HP Compaq 6000 Pro Small form Factor [6]: GK-AU y GK-AM

- Procesador: Pentium(R) Dual-Core CPU E5700 @ 3.00GHz
- Memoria (RAM): 4.00 GB
- Gráficos: Intel(R) Q45/Q43 Express Chipset (Microsoft Corporation - WDDM 1.1)
- Gráficos de juego: 1547 MB (memoria de gráficos total disponible)
- Disco duro principal: 346GB disponibles (455GB en total)
- Windows 7 Ultimate
- Fabricante: Hewlett-Packard
- Modelo: HP Compaq 6000 Pro SFF PC
- Tipo de sistema: Sistema operativo de 32 bits
- Número de procesadores principales: 2
- Compatible con 64 bits: Sí
- Adaptador de red: Linksys WUSB600N Wireless-N USB Adapter with Dual-Band ver. 2

HP Compaq dc7700: E-AU-1, 2, 3 y E-AM-1, 2, 3

- Windows XP Profesional
- Procesador: Intel Core 2 Duo 6300 @ 1.86
- Memoria RAM: 1Gb
- Disco Duro: 160Gb
- Graficos: Intel (R) Q965/Q963 Express Chipset Family

- Adaptador de Re: Linksys WUSB600N Wireless-N USB Adapter with Dual-Band ver. 2

5.1.2 Configuración de los Equipos

Antenas Ubiquiti

- *Antena instalada en el campus Chetumal-UQROO*

ID: AU

IP: 192.168.1.15

Wireless Mode: Estacion WDS

Conexión: Punto a Punto

SSID: ubntuqroo

Login:

User: ubnt

Pass: redes2012

Conexión:

Pass: ProyectoVoIP2012

- *Antena instalada en la Facultad de Medicina-UQROO*

ID: AM

IP: 192.168.1.14

Wireless Mode: Cliente WDS

Conexión: Punto a Punto

SSID: ubntuqroo

Login:

User: ubnt

Pass: redes2012

Conexión:

Pass: ProyectoVoIP2012

Routers Belkin

➤ *Router instalado en el campus Chetumal-UQROO*

ID: R-AU

IP: 192.168.1.2

Rango de Direcciones: 192.168.1.6 - 192.168.1.9

Direcciones para Administrar: 192.168.1.3 - 192.168.1.5

Modo de operación: Acces Point

SSID: VoIP Redes 2.4GHz y VoIP Redes 5GHz

Login:

Pass: redes2012

Wireless:

Pass: ProyectoVoIP2012

➤ *Router instalado en la Facultad de Medicina-UQROO*

ID: R-AM

IP: 192.168.1.1

Rango de Direcciones: 192.168.1.10 - 192.168.1.13

Direcciones para Administrar: 192.168.1.3 - 192.168.1.5

Modo de Operación: Router

SSID: VoIP Redes 2.4GHz y VoIP Redes 5GHz

Login:

Pass: redes2012

Wireless:

Pass: ProyectoVoIP2012

Tarjetas de Red USB Linksys

La Tabla 14 ilustra las configuraciones establecidos en los terminales.

Tabla 14 Configuración de Tarjetas USB Linksys

MAC	Dirección IP	Tipo	ID
98:FC:11:E2:4B:57	192.168.1.6	Gatekeeper	GK-AU
98:FC:11:E2:4A:EF	192.168.1.7	Terminal	E-AU-1
98:FC:11:E2:4A:B8	192.168.1.8	Terminal	E-AU-2
98:FC:11:E2:4B:68	192.168.1.9	Terminal	E-AU-3
98:FC:11:E2:4A:BB	192.168.1.10	Gatekeeper	GK-AM
98:FC:11:E2:4A:FF	192.168.1.11	Terminal	E-AM-1
98:FC:11:E2:4B:30	192.168.1.12	Terminal	E-AM-2
98:FC:11:E2:4B:5D	192.168.1.13	Terminal	E-AM-3

5.1.3 Software Utilizado

A continuación en la Tabla 15 se muestra el software utilizados durante este proyecto.

Tabla 15 Software utilizado en el Proyecto

Nombre	Licencia	Versión	Pagina Web	Tipo
GNU Gatekeeper [1]	Freeware	3.1.0	www.gnugk.org	H.323 Gatekeeper
Wireshark [2]	Freeware	1.8.2	www.wireshark.org	Analizador de Trafico

SJ Phone [8]	Freeware	1.65.2637	www.sjlabs.com	Softphone
TeamViewer [9]	Version Gratuita	7.0.12541	www.teamviewer.com/es	Administración Remota
Media Player Clasic [10]	Freeware	1.6.4.6052	mpc-hc.sourceforge.net	Reproductor Multimedia
Netlimiter [11]	Prueba	3.0.0.11	www.netlimiter.com	Limitador de ancho de Banda
Google Chrome [12]	Freeware	23.0.1271.64 m	www.google.com.mx/Chrome	Navegador Web

GNU Gatekeeper [1]: Este es el principal software que se utilizó para administrar las llamadas realizadas entre los softphones.

Wireshark [2]: Este analizador de tráfico se utilizó para capturar todo el tráfico generado por las llamadas realizadas entre los softphones para después poder analizarlo.

SJ Phone [8]: Con este Softphone se realizaron las llamadas entre las computadoras utilizadas.

Media Player Clasic [9]: Este ligero pero muy útil reproductor multimedia se utilizó para reproducir una serie de audios en ingles que se transmitieron a través de las llamadas realizadas con los softphones.

TeamViewer [10]: Este poderoso software de administración remota se utilizó para monitorizar las capturas durante todo el día.

Netlimiter [11]: Con este limitador de ancho de banda se monitorizo que el GNU Gatekeeper estuviera funcionando correctamente mediante la medición del ancho de banda utilizado.

Google Chrome [12]: Este navegador web se utilizó para la administración de las antenas Ubiquiti y de los Router Belkin.

5.1.4 Conjunto de Trazas Colectadas

La Tabla 16 muestra la configuración usada en los terminales de la Figura 14 para efectuar las mediciones.

Tabla 16 Configuración de Terminales

Conjunto de Trazas (CT)	E-AU-1/E-AM-1	E-AU-2/E-AM-2	E-AU-3/E-AM-3	Ancho de Banda
CT1, CT2, CT3, CT7	G.711-20ms	G.711-20ms	G.711-20ms	20MHz
CT8	G.711-20ms	G.711-20ms	G.711-20ms	10MHz
CT4, CT5, CT6	GSM-20ms	GSM-20ms	GSM-20ms	20MHz

Las mediciones correspondientes a los conjuntos de trazas ilustrados en la Tabla 17, fueron colectadas de la siguiente manera:

- Tres llamadas de prueba fueron establecidas de manera simultáneas entre los terminales E-AU-1/E-AM-1, E-AU-2/E-AM-2 y E-AU-3/E-AM-3, ver Tabla 16.
- Durante las llamadas se transmitió un audio en inglés para simular la conversación de dos personas.
- Las configuraciones usadas en las llamadas de prueba están basadas en: el tipo de CODEC (G.711 y GSM) y tamaño de paquete de voz (20ms).
- Los periodos de medición fueron de 60 minutos por cada llamada de prueba (duración de llamada).
- Por cada periodo de medición (una hora), tres trazas de jitter de arribo, OWD y PLR fueron obtenidas.
- Los ocho conjuntos de trazas seleccionados contienen 51.84 millones de paquetes RTP, correspondiente a 288 trazas de jitter de arribo, 288 trazas de OWD y 288 trazas de PLR, medidos en horas típicas de trabajo.

Tabla 17 Descripción de los Conjuntos de Trazas Colectados

Conjunto de Trazas	Período de medición	CODEC usado	Trazas capturadas	Total de paquetes	Total de bytes
--------------------	---------------------	-------------	-------------------	-------------------	----------------

1	12-10-2012 10:00 – 22:00	G711	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	1,386,720,000
2	13-10-2012 10:00 – 22:00	G711	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	1,386,720,000
3	14-10-2012 10:00 – 22:00	G711	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	1,386,720,000
4	19-10-2012 10:00 – 22:00	G711	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	1,386,720,000
5	20-10-2012 10:00 – 22:00	G711	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	1,386,720,000
6	21-10-2012 10:00 – 22:00	GSM	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	563,760,000
7	13-11-2012 10:00 – 22:00	GSM	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	563,760,000
8	14-11-2012 10:00 – 22:00	GSM	Jitter arribo 36 OWD 36 PLR 36	6,480,000	563,760,000

La Tabla 17 muestra la descripción detallada de los conjuntos de trazas colectadas durante el proceso de medición.

Para llevar a cabo la captura de las trazas, se utilizó el analizador de protocolos de red Wireshark. El Wireshark se instaló y ejecutó en el gatekeeper GK-AU.

Para iniciar la captura tenemos abrir Wireshark y elegir la opción “Capture Options”, como se muestra en la Figura 15.

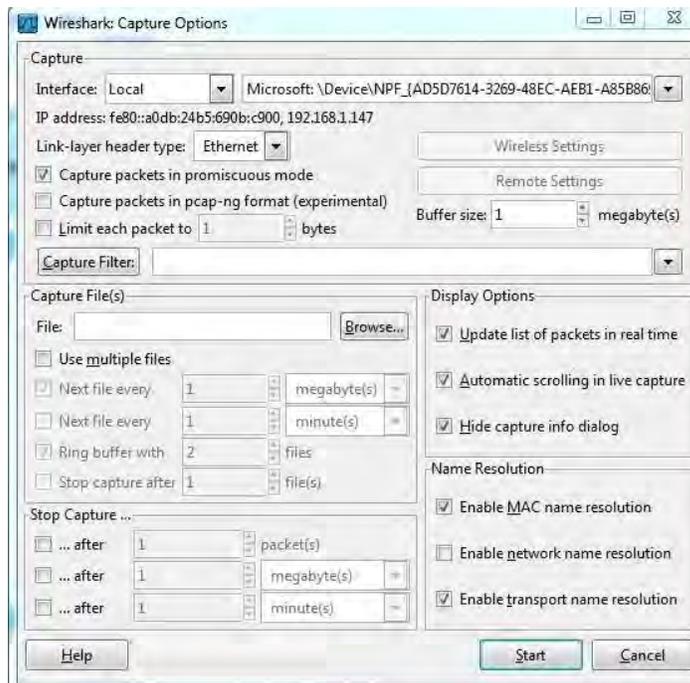


Figura 15 Opciones de Captura del Wireshark

Posteriormente, es necesario verificar que la dirección de la PC donde se encuentra instalado el Wireshark sea seleccionada en la sección IP address y procedemos a configurar los siguientes campos como sigue:

Capture filter: Aquí especificaremos los filtros a utilizar durante la medición, tales como, tipo de paquetes que se capturaran (TCP, UDP, etc) y entre que dispositivos. Especificaremos las direcciones IP origen y destino en el siguiente formato:

- Host [IP origen] and host [IP destino] and UDP

En este caso el filtro quedó de la siguiente manera:

- Host 192.168.1.10 and host 192.168.1.6 and UDP

De esta manera ya estamos limitando al Wireshark a sólo capturar los paquetes UDP que se intercambian los gatekeepers GK-AU y GK-AM.

En el apartado de File designamos el nombre del archivo con extensión “.pcap” junto con la ruta en la cual se guardará. Posteriormente debemos activar las casillas de verificación “Use multiple files”, después la segunda casilla “next file

every” la configuramos a una hora, y por último “stop capture after” lo configuramos con el valor de nueve.

De esta manera ya se configuró el Wireshark para que capture paquetes UDP entre GK-AU y GK-AM en intervalos de a una hora, durante nueve horas, como se ilustra en la Tabla 17.

Al final de la captura se generaran nueve archivos con extensión “.pcap”. Para obtener las trazas mostradas en la Tabla 17, cada uno de estos archivos debe pasar por un proceso que se describirá a continuación:

Paso 1: Abrir uno de los archivos “.pcap”. Una vez abierto, decodificamos los flujos UDP como RTP mediante la opción “Decode As” del menú desplegable “Analyze”, como se muestra en la Figura 16.

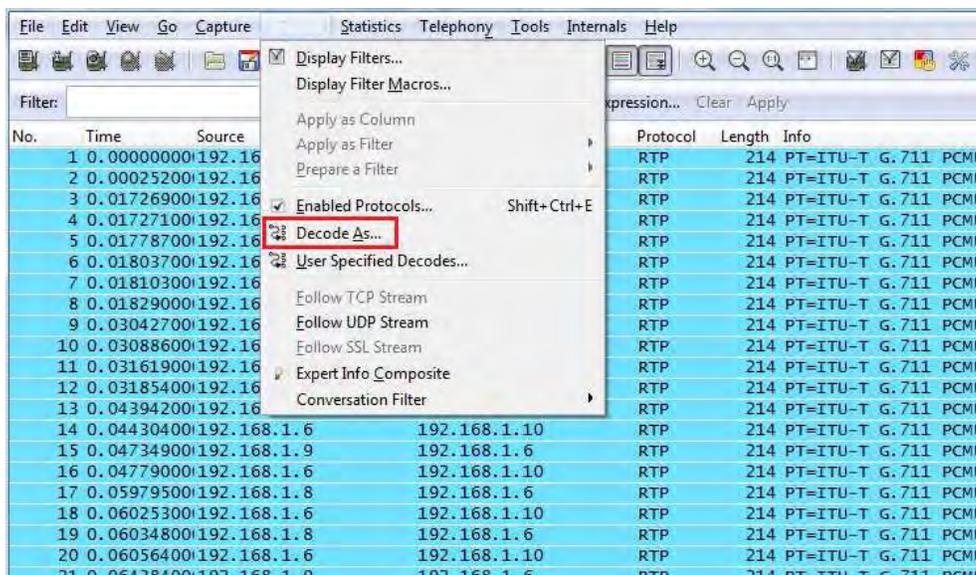


Figura 16 Decodificado de Paquetes UDP

Paso 2: Elegir RTP en el apartado derecho y clic en aceptar (ver Figura 17).

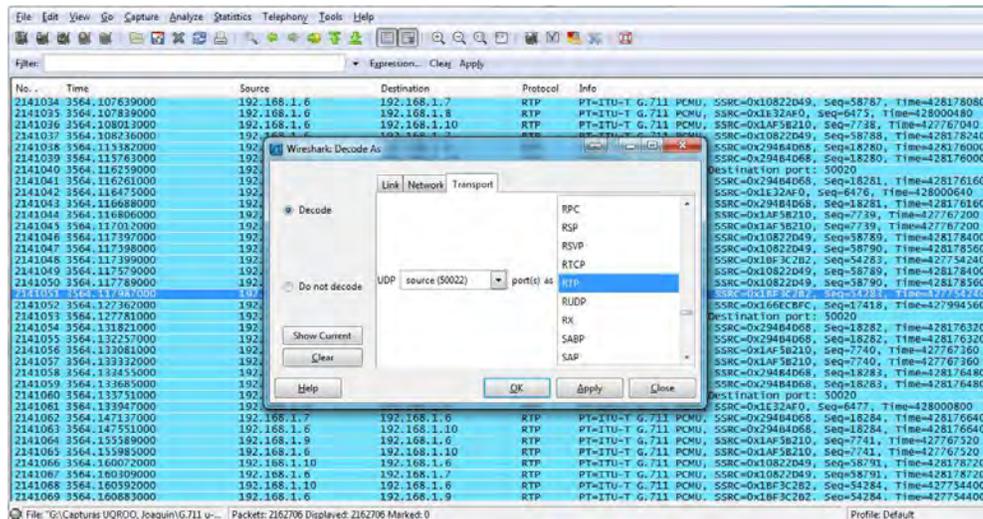


Figura 17 Seleccionar RTP

Se empezará a decodificar el paquete UDP a RTP, dependiendo de las características del equipo es lo que tardará este proceso.

Paso 3: Este proceso hay que repetirlo hasta que no quede ningún flujo UDP visible en la pantalla principal de Wireshark y sólo se vean flujos RTP, como se muestra en la Figura 18.

12	0.03185400	192.168.1.6	192.168.1.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x294B4D68, Seq=36687, Time=399663840
13	0.04394200	192.168.1.8	192.168.1.6	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x166ECBFC, Seq=35823, Time=399482080
14	0.04430400	192.168.1.6	192.168.1.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x166ECBFC, Seq=35823, Time=399482080
15	0.04734900	192.168.1.9	192.168.1.6	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x1AF5B210, Seq=26138, Time=399253760
16	0.04779000	192.168.1.6	192.168.1.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x1AF5B210, Seq=26138, Time=399253760
17	0.05979500	192.168.1.8	192.168.1.6	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x166ECBFC, Seq=35824, Time=399482240
18	0.06025300	192.168.1.6	192.168.1.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x166ECBFC, Seq=35824, Time=399482240
19	0.06034800	192.168.1.8	192.168.1.6	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x166ECBFC, Seq=35825, Time=399482400
20	0.06056400	192.168.1.6	192.168.1.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x166ECBFC, Seq=35825, Time=399482400
21	0.06438400	192.168.1.9	192.168.1.6	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x1AF5B210, Seq=26139, Time=399253920
22	0.06474500	192.168.1.6	192.168.1.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x1AF5B210, Seq=26139, Time=399253920

Figura 18 Flujos RTP

Paso 4: Ahora podemos ver los flujos de datos de las llamadas, para ello nos vamos al menú Telephony y en el submenú RTP seleccionamos “Show all streams” (ver Figura 19).

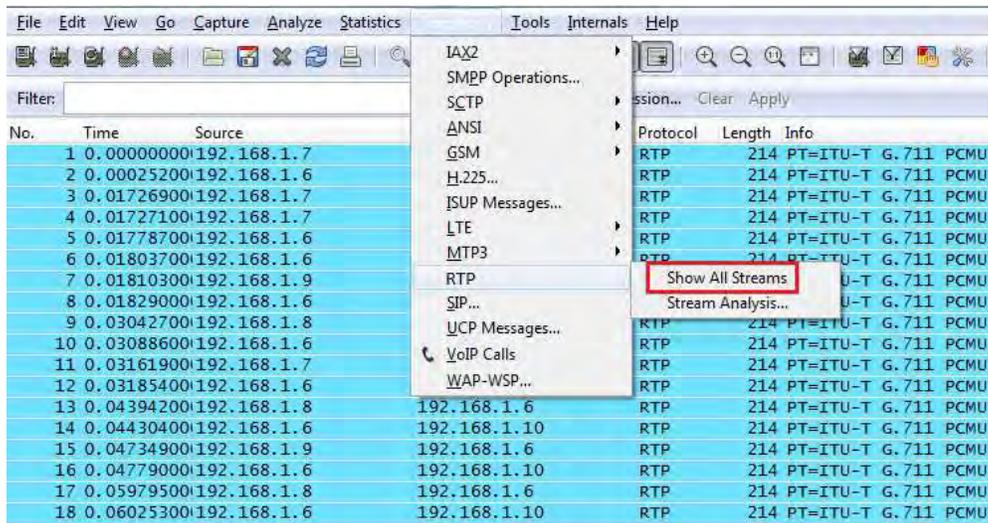


Figura 19 Mostrar Flujos RTP por Llamada

Nos aparecerá la siguiente pantalla con los flujos de llamada; en este caso uno de entrada y uno de salida (ver Figura 20).

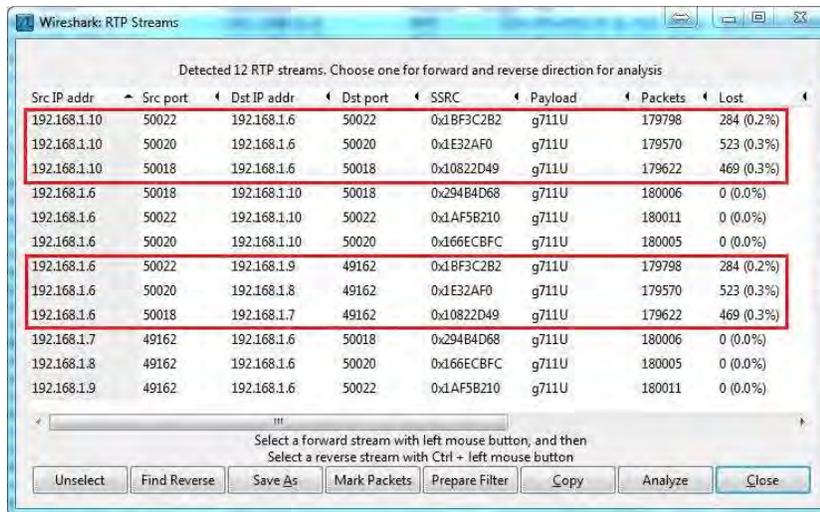


Figura 20 Flujos RTP por Llamada

Dependiendo del número de llamadas realizadas es el número de flujos RTP por llamada que nos aparecerá, son dos flujos por llamada, esto quiere decir que por 3 llamadas tendríamos 6 flujos; 3 de ida y 3 de vuelta.

Paso 5: Wireshark es capaz de obtener una estadística a cerca de algunos parámetros de red como jitter de arribo, pérdidas de paquetes, etc. Para esto, en la ventana “RTP streams” (Figura 20) seleccionamos uno de los flujos y damos clic en “Analyze”. En el cuadro de diálogo que aparecerá a continuación podremos ver los valores de jitter de arribo entre paquetes consecutivos, los números de secuencia de los paquetes, etc. (ver Figura 21).

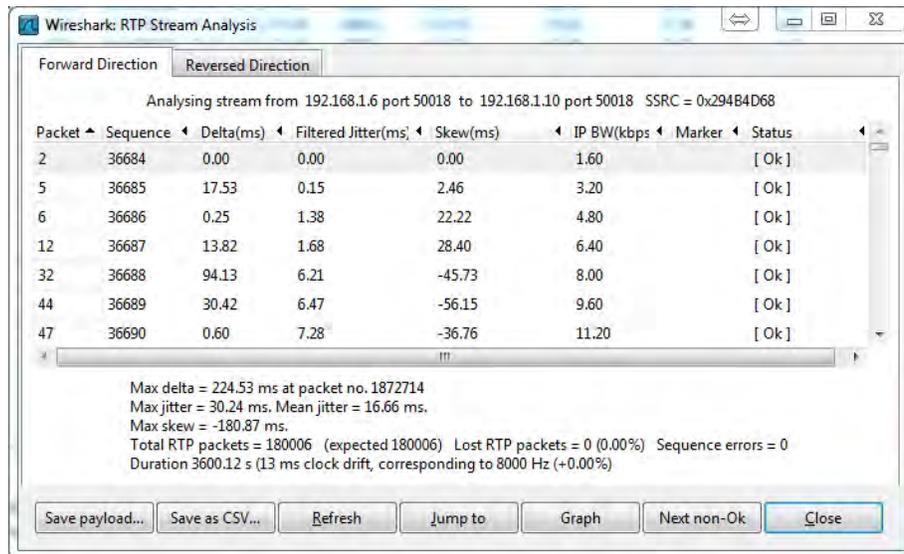


Figura 21 Estadísticas de Paquetes de un Flujo RTP

Para guardar estos datos podemos hacerlo con el botón “Save as CSV” el cual guardará un archivo en formato CSV con los parámetros de QoS de un flujo RTP. Hay que repetir el proceso desde el paso 5 con los demás flujos RTP.

Cabe mencionar que el proceso de filtrado realizado anteriormente, corresponde a una hora de medición, por lo tanto hay que repetirlo para las demás horas de cada día de medición.

Para obtener finalmente las trazas, se abrieron los archivos CSV mediante Excel (ver Figura 22), se extrajeron las columnas contenidas en el mismo y se guardaron en archivos TXT (ver Figura 23).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Forward										
2	Packet	Sequence	Time stamp	Delta (ms)	Jitter (ms)	Skew(ms)	IP BW (kbps)	Marker	Status		
3	18	23018	55603840	0	0	0	1.6		[Ok]	08:52.0	214
4	51	23019	55604000	43.8	1.49	-23.8	3.2		[Ok]	08:52.1	214
5	59	23020	55604160	17.49	1.55	-21.29	4.8		[Ok]	08:52.1	214
6	77	23021	55604320	20.61	1.49	-21.91	6.4		[Ok]	08:52.1	214
7	79	23022	55604480	2.51	2.49	-4.41	8		[Ok]	08:52.1	214
8	113	23023	55604640	92.57	6.87	-76.98	9.6		[Ok]	08:52.2	214
9	115	23024	55604800	0	7.69	-56.98	11.2		[Ok]	08:52.2	214
10	130	23025	55604960	38.74	8.38	-75.73	12.8		[Ok]	08:52.2	214
11	132	23026	55605120	0.57	9.07	-56.3	14.4		[Ok]	08:52.2	214
12	133	23027	55605280	0	9.76	-36.3	16		[Ok]	08:52.2	214

Figura 22 Ejemplo de un Archivo .csv

Por cada archivo CSV, se extraerán tres archivos TXT (traza de jitter de arribo, OWD y PLR), correspondientes a un flujo RTP capturado en una hora determinada.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
G.711-121012-1100-MU-20-1-delta.txt	15/11/2012 03:06 ...	Documento de tex...	1,154 KB
G.711-121012-1100-MU-20-1-jitter.txt	15/11/2012 03:06 ...	Documento de tex...	1,228 KB
G.711-121012-1100-MU-20-1-sequency.txt	15/11/2012 03:06 ...	Documento de tex...	1,198 KB
G.711-121012-1100-MU-50-1-delta.txt	15/11/2012 03:07 ...	Documento de tex...	1,152 KB
G.711-121012-1100-MU-50-1-jitter.txt	15/11/2012 03:07 ...	Documento de tex...	1,227 KB
G.711-121012-1100-MU-50-1-sequency.txt	15/11/2012 03:07 ...	Documento de tex...	1,194 KB
G.711-121012-1100-MU-100-1-delta.txt	15/11/2012 03:04 ...	Documento de tex...	1,145 KB
G.711-121012-1100-MU-100-1-jitter.txt	15/11/2012 03:04 ...	Documento de tex...	1,226 KB
G.711-121012-1100-MU-100-1-sequency.txt	15/11/2012 03:04 ...	Documento de tex...	1,197 KB

Figura 23 Archivos Extraídos en Formato .txt

Referencias

- [1] G. Combs, Wireshark: A Network Protocol Analyzer, <http://www.wireshark.org/>, 2010.
- [2] J. Willamowius, "OpenH323 Gatekeeper: The GNU Gatekeeper," <http://www.gnugk.org/>, 2009.
- [3] Ubiquiti Networks, Inc. <http://www.ubnt.com/nanostation>, 2012.
- [4] Belkin, <http://www.belkin.com/us>, 2012.
- [5] Cisco, <http://home.cisco.com/es-latam/products/adapters/WUSB600N>, 2012.
- [6] HP, [HP Compaq 6000 Pro Small Form Factor](#)
- [7] HP, [HP Compaq dc7700 Convertible Minitower](#)
- [8] SJ Labs, "Voice Over IP Software", <http://www.sjlabs.com/sjp.html>
- [9] TeamViewer, "Gratis Control Remoto y Reuniones Online," <http://www.teamviewer.com/es>, 2012
- [10] Home MPC-HC, <http://mpc-hc.sourceforge.net/>, 2012.
- [11] NetLimiter "The Ultimate Bandwidth Shaper", <http://www.netlimiter.com/>, 2012
- [12] Google Chrome, "Navegador Chrome", <http://www.google.com/intl/es/chrome/>, 2012

Capítulo 6 Análisis y Caracterización del Tráfico VoIP en un Escenario Inalámbrico

En la presente sección se presenta el análisis y caracterización del tráfico VoIP capturado en un escenario inalámbrico. El conjunto de mediciones analizadas en esta sección, se muestran en la Tabla 17.

En este trabajo se evaluó el desempeño de un conjunto de llamadas de prueba, mediante el cálculo del factor R y el correspondiente mapeo a valores de MOS. La Figura 24 muestra los valores promedio de MOS correspondiente a los Conjuntos de Trazas: CT1, CT2 y CT3 por cada hora de medición.

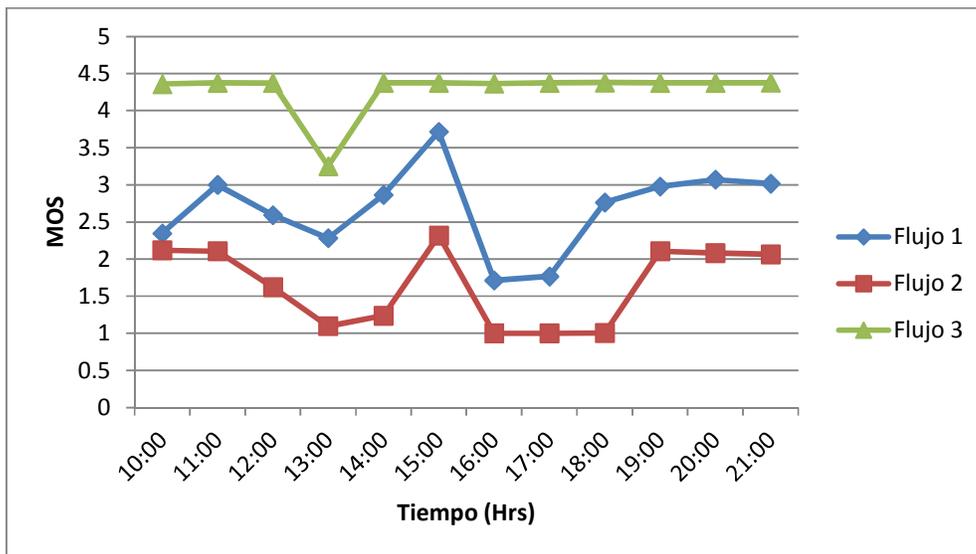


Figura 24 Valores Promedios de MOS por Hora: CT1, CT2 y CT3

En la Figura 24, analizamos los valores promedio de MOS calculados por cada hora de medición en CT1, CT2 y CT3, que corresponden a tres llamadas de prueba (Flujo 1, 2, 3) con las configuraciones mostradas en la Tabla 16 (G.711-20ms). En esta figura podemos observar que solo el flujo 3 ofreció buena calidad de acuerdo al MOS (usuarios “Muy Satisfechos”) con excepción de un pico que hubo a las 13hrs donde el valor de MOS bajo a 3.25 (“Muchos Usuarios están Insatisfechos”), debido a alguna degradación de la señal de voz. Por otro lado, los otros 2 flujos presentaron valores de MOS que van desde 1.0 (“Casi todos los Usuarios están Insatisfechos”) hasta 3.7 (“Algunos Usuarios están Insatisfechos”) y por consiguiente, no logran alcanzar buena calidad [1].

Con el objetivo de obtener más información sobre que parámetro de QoS fue el responsable de las degradaciones presentadas en la Figura 24, en las Figuras 25

y 26 se ilustran los correspondientes valores de PLR y OWD de las llamadas de prueba bajo estudio.

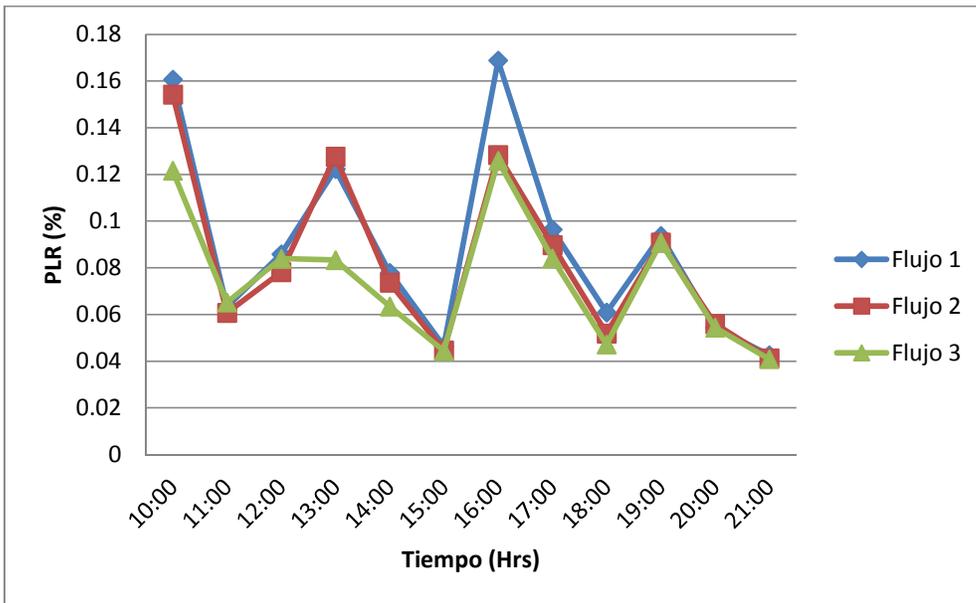


Figura 25 Valores Promedios de PLR por Hora: CT1, CT2 y CT3

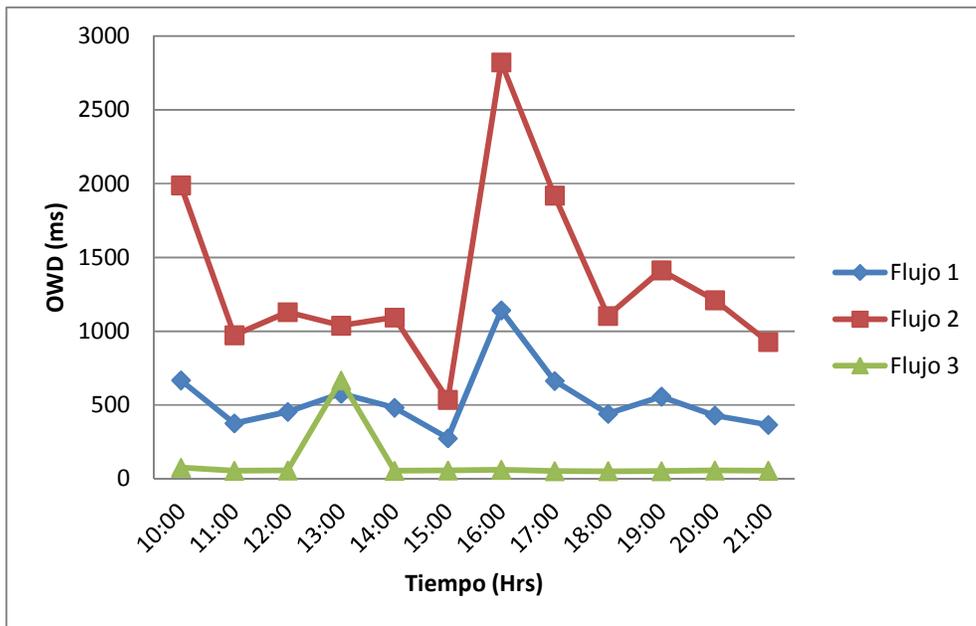


Figura 26 Valores Promedios de OWD por Hora: CT1, CT2 y CT3

Ahora analizando el PLR (ver Figura 25) podemos ver que los tres flujos siguen un comportamiento muy similar, sin embargo el flujo 3 muestra valores más pequeños

que los otros dos flujo manteniendo valores entre 0.12% - 0.04% y promediando un valor de 0.075%, por otra parte el flujo 1 es el que muestra valores más grandes, entre 0.16% - 0.42%.

En general a pesar de que se ven muchas variaciones en los valores de PLR de los flujos, como se observa en la Figura 25, ninguno de ellos logra alcanzar valores grandes como para afectar la calidad de la llamada de manera considerable.

Por otro lado, si analizamos el OWD (ver Figura 26), se puede observar que el flujo 2, presentó los valores más grandes de OWD, con valores que van desde 535.7ms – 2821.89ms, con estos valores este flujo ha perdido totalmente la calidad ya que según los estudios realizados a esta métrica, los valores aceptables para este retardo son de 150ms – 400ms. Por otra parte vemos que el flujo 3 logró conservar valores muy bajos, entre 52.54ms – 76.4ms, sin embargo a las hora 13hrs alcanzó un valor de 667.7ms que cae dentro del rango de calidad mala, por este motivo en la Figura 24 a las 13 hrs se obtiene un valor de MOS de 3.25 (“Muchos Usuarios están Insatisfechos”) [3].

De lo anterior podemos concluir que el OWD es el parámetro de mayor impacto en la QoS de las llamadas de prueba bajo estudio.

Otro análisis consistió en comparar los valores de MOS, OWD y PLR del flujo 1 correspondiente al CT1 (valores sin promediar). La Figura 27, 28 y 29 muestra el comportamiento de estos parámetros.

En la Figura 27 podemos ver como los valores del MOS se mueven en función a los valores de PLR, es decir, cuando los valores de PLR aumentan el MOS disminuye.

De igual manera que con el PLR, el comportamiento del MOS se mueven en función del OWD, los picos de OWD se ven reflejados en valores bajos de MOS y en consecuencia en la disminución de la QoS, como se muestra en la Figura 28.

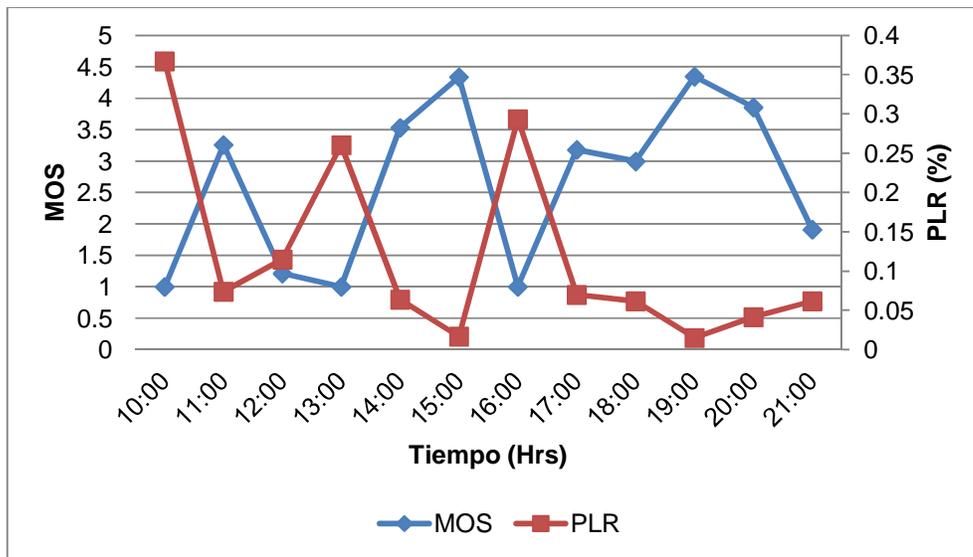


Figura 27 Relación entre MOS y PLR: CT1-Flujo 1

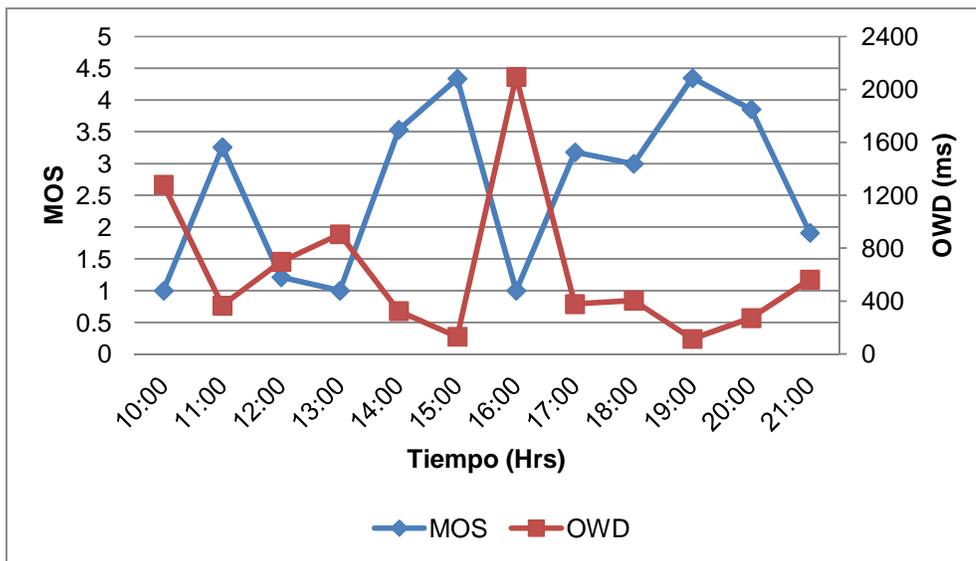


Figura 28 Relación entre MOS y OWD: CT1-Flujo 1

Por último se muestra la comparación entre PLR y OWD, como podemos ver, en la Figura 29, existe una gran correlación entre los valores de PLR y OWD, lo cual explica y justifica la influencia lineal que tienen estos dos parámetros en el MOS. Sin embargo, cabe mencionar que los valores de PLR están en los valores óptimos y los valores de OWD se encuentran en valores no deseados en una

comunicación, por tanto, se reafirma la conclusión anterior para este caso particular, donde, el OWD es el parámetro de mayor impacto en la QoS.

Por otro lado, se puede observar que existe un compromiso entre el OWD, PLR y MOS. Si el OWD presenta un valor grande y el PLR presenta un valor pequeño, se mantiene un nivel bueno de QoS, de tal manera que retardos grandes son compensados con pérdidas pequeñas.

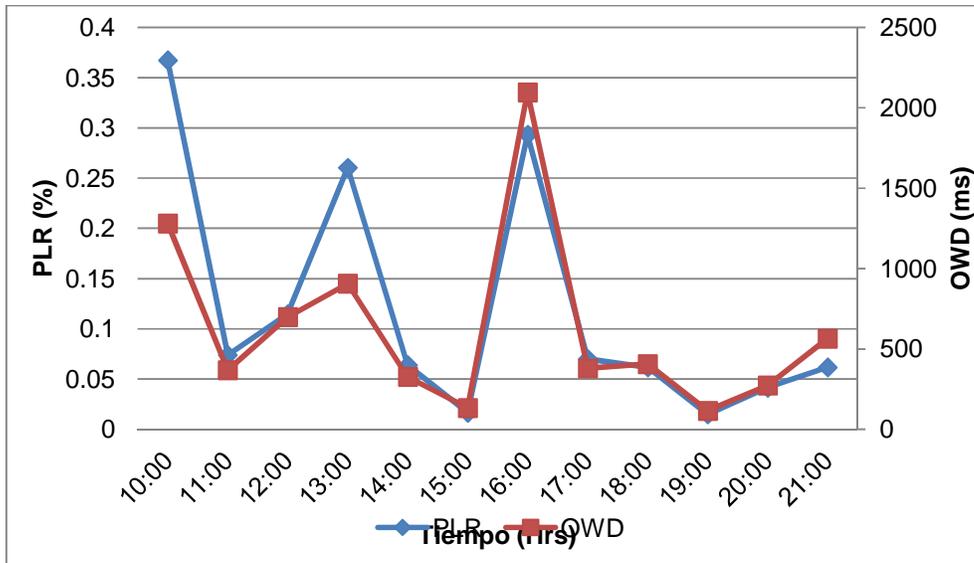


Figura 29 Relación entre PLR y OWD: CT1-Flujo 1

Como se puede observar en los análisis anteriores, el ancho de banda usado en las llamadas de prueba bajo estudio fue de 20MHz. Con el objetivo de analizar los parámetros anteriores a diferentes anchos de banda, se presenta la Figura 30. En la Figura 30 se muestra una comparativa del MOS, OWD y PLR del CT8, el cual corresponde a un flujo de voz transmitido sobre un canal de 10MHz.

Observamos que los valores de MOS se mantuvieron a un nivel constante durante casi todo el día, sin embargo, se presentaron dos picos importantes a las 11hrs y a las 12hrs con valores de 3.89 y 3.90 respectivamente (“Algunos Usuarios están Insatisfechos”), sin embargo, los valores de MOS varía entre los valores 3.8 – 4.3, con un promedio de 4.1, lo cual significa en la escala MOS que los usuarios están “Satisfechos” [1].

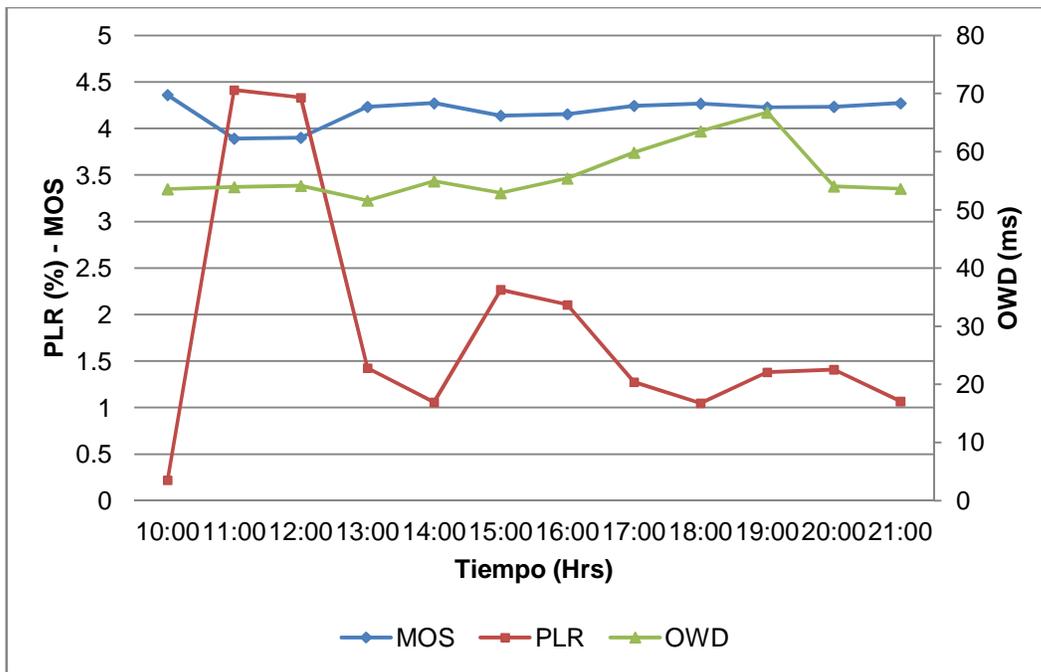


Figura 30 Relación entre MOS, PLR y OWD: CT8-Flujo 1-10MHz

De la Figura 30 también se puede observar que el PLR presentó valores muy altos durante las horas 11hrs y 12hrs registrando valores de 4.4% y 4.3% de pérdidas, respectivamente, en consecuencia, estos valores de pérdida no deseados afectaron significativamente al MOS, haciéndolo descender 0.5 puntos en su escala, además de estos dos valores atípicos, el PLR tuvo valores muy altos durante este día, ya que los valores que presenta en su mayoría son mayores al 1%, teniendo como valor mínimo el 0.2% y como máximo el 4.4%, con un valor promedio durante este día de 1.8%, lo cual según estudios realizados de esta métrica nos indican que la calidad es “Mala” [2].

Por último, la Figura 30 nos muestra los valores de OWD, como vemos este parámetro, se mantuvo en valores muy bajos, teniendo un valor mínimo de 51.6ms y un máximo de 66.7ms. El promedio de OWD fue de 56.2ms lo que según los estudios realizados a esta métrica, la calidad fue “Buena”, ya que este retardo cuando está entre 0 y 150ms es considerado bueno [3].

De este análisis podemos concluir que al disminuir el ancho de banda, se incrementaron las pérdidas de paquete, sin embargo los retardos extremo a extremo no se vieron afectados.

Con el objetivo de conocer a fondo el comportamiento del PLR, se analizó el comportamiento de dicho parámetro en las horas donde se detectaron los niveles más bajos de QoS (ver Figura 30).

En [4] se presenta que existe una relación entre el PLR y el jitter de arribo, donde esta relación puede ser deducida a partir de la ecuación (4.5) como sigue:

Si el paquete $K - 1$ se pierde:

$$IAT(K, K - 2) = J^K(L) + (2)IDT \quad 6.1$$

Entonces, si n paquetes consecutivos se pierden,

$$IAT(K, K - n - 1) = J^K(L) + (n + 1)(IDT) \quad 6.2$$

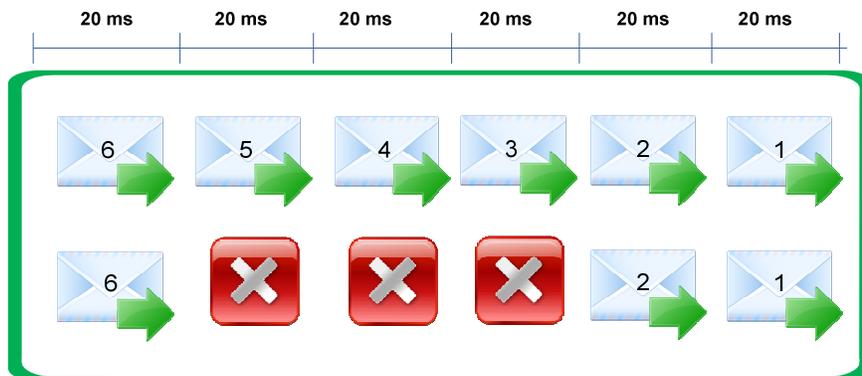


Figura 31 Relación entre Jitter y PLR

Tomando como referencia la ecuación (6.2) y la Figura 31 se puede ver cómo están relacionados el jitter de arribo y el PLR. Por ejemplo, en esta tesis usamos tamaños de paquete de 20ms, los cuales son transmitidos a tasa constante, es decir 1 paquete/20ms. Sin embargo, cuando los paquetes de voz son transportados sobre una red IP y arriban al receptor, estos pueden experimentar variaciones de retardo y pérdida de paquetes.

En ausencia de pérdidas, los paquetes arriban a su destino a retardos variables, pero aproximados al tamaño de paquete. Sin embargo cuando hay pérdidas, estas variaciones de retardos (jitter) aumentan en base al múltiplo $(n+1)$, donde n es el número de paquetes perdidos de manera consecutiva.

Suponiendo que el flujo de paquetes de la Figura 31 son transportados sobre una red ideal donde los paquetes arriban a la misma tasa de salida ($J^K(L)=0$), entonces, si se pierden tres paquetes consecutivos (2, 3 y 4), el valor de jitter entre los últimos dos paquetes consecutivos (2 y 6) será igual a 80ms, $IAT(K, K-3-1) = 0 + (3+1)(20ms) = 80ms$.

Realizando el proceso inverso se podría también calcular el número de paquetes perdidos; tomamos el valor de jitter (80 ms) lo dividimos entre 20 ms que es el tamaño de paquete y le restamos 1 y obtenemos que se perdieron 3 paquetes. De esta manera, el jitter y el PLR están relacionados, por lo tanto, teniendo uno es posible calcular el otro.

En base a la relación mencionada anteriormente se analizó el comportamiento del PLR y jitter en las siguientes horas del CT8: (CT8, 10:00hrs), (CT8, 11:00hrs), y (CT1, 12:00hrs).

Las Figuras 32 y 33 muestran el vector de pérdida (como se define en la sección 4.1.3) y la traza de jitter de arribo (CT8, 10:00hrs), respectivamente.

Como se puede ver en la Figura 32, las pérdidas se presentan en ráfagas, en esta figura se pueden apreciar 11 ráfagas importantes de pérdida.

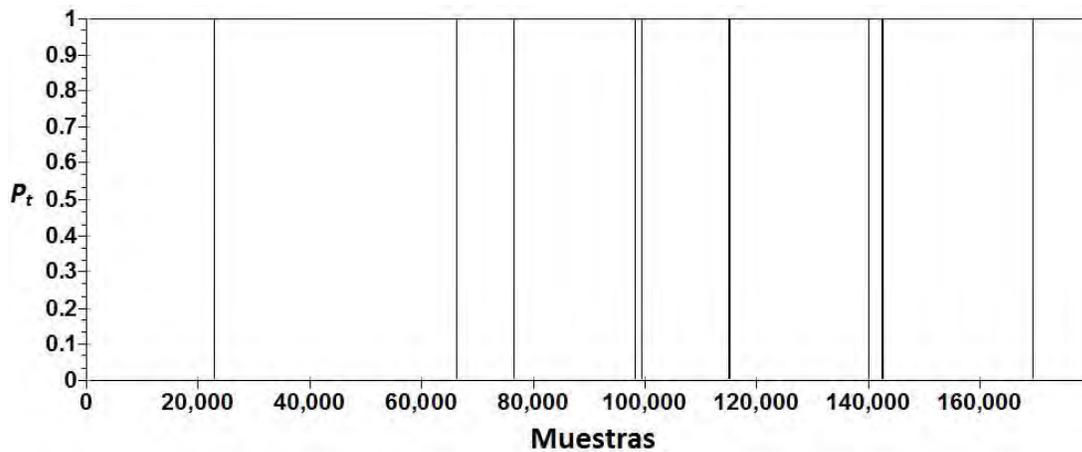


Figura 32 Vector de Pérdida: (CT8, 10:00hrs)

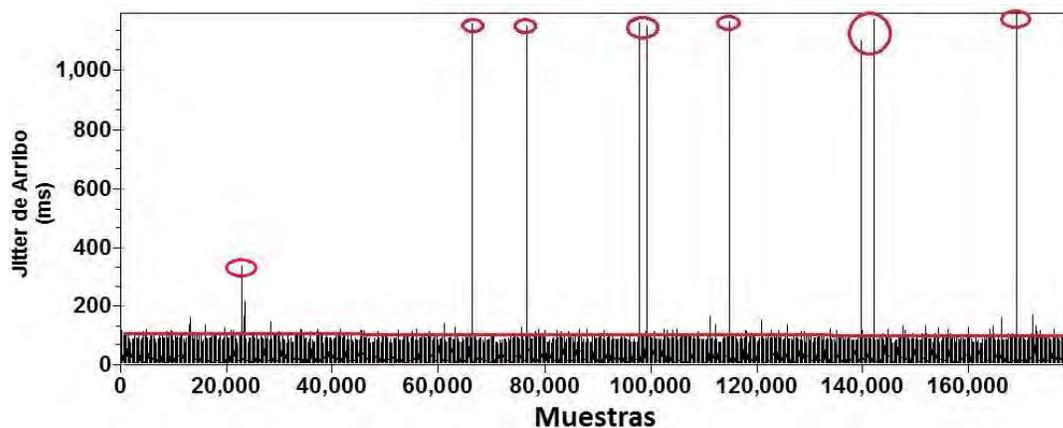


Figura 33 Jitter: (CT8, 10:00hrs)

La Figura 33 muestra como las ráfagas de pérdidas registradas afectaron al jitter, registrando valores de más de 1100ms, lo que nos indica que en promedio se perdieron 55 paquetes por ráfaga, según los cálculos realizados previamente. Y como se observa los demás valores registrados son derivados de ráfagas pequeñas que en promedio no supera los 100ms.

Las Figuras 34 y 35 muestran el vector de pérdida y la traza de jitter de arribo (CT8, 11:00hrs), respectivamente.

La Figura 34, ilustra la hora donde se registró el pico más alto del PLR. Como podemos observar, el nivel de ráfagas registradas aumento significativamente, registrando alrededor de 11 veces más (137) que en la primera hora.

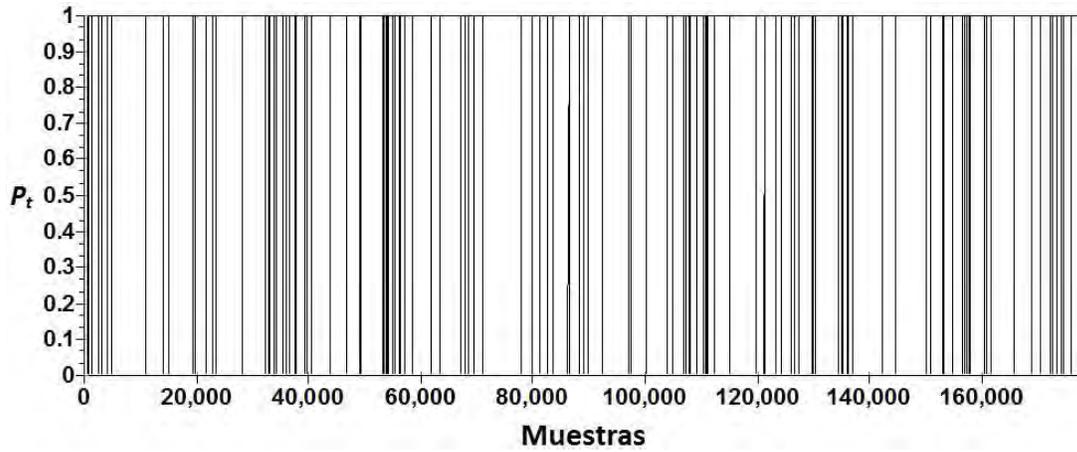


Figura 34 Vector de Pérdida: (CT8, 11:00hrs)

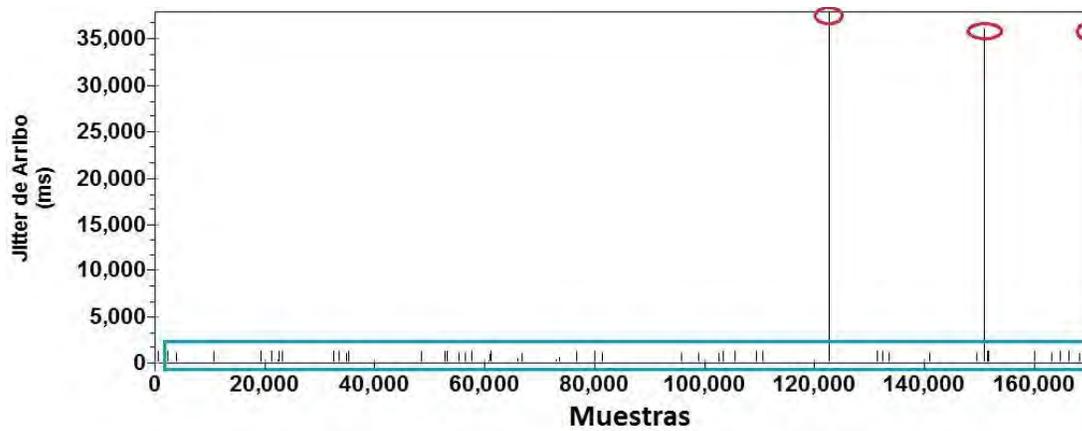


Figura 35 Jitter: (CT8, 11:00hrs)

Ahora veamos cómo fue afectado el jitter de arriba con tantas ráfagas de pérdidas, viendo la Figura 35 se observan 3 retardos importantes, los cuales tienen valores extremos, de más de 35000ms, lo cual ha afectado significativamente, dando aproximadamente 1750 paquetes perdidos de manera consecutiva por ráfaga, haciendo un total de 5250 paquetes perdidos en solo 3 ráfagas, sin embargo si hacemos un acercamiento a la zona que se encuentra en el margen azul (ver Figura 36).

La Figura 28 nos muestra que tenemos adicionalmente a los tres valores atípicos de jitter de la Figura 35, alrededor de 46 retardos importantes que mantuvieron en promedio un valor de 1200ms y una pérdida promedio de 60 paquetes perdidos de manera consecutiva por ráfaga. También, observamos que los demás valores registrados son derivados de ráfagas pequeñas que en promedio no supera los 100ms.

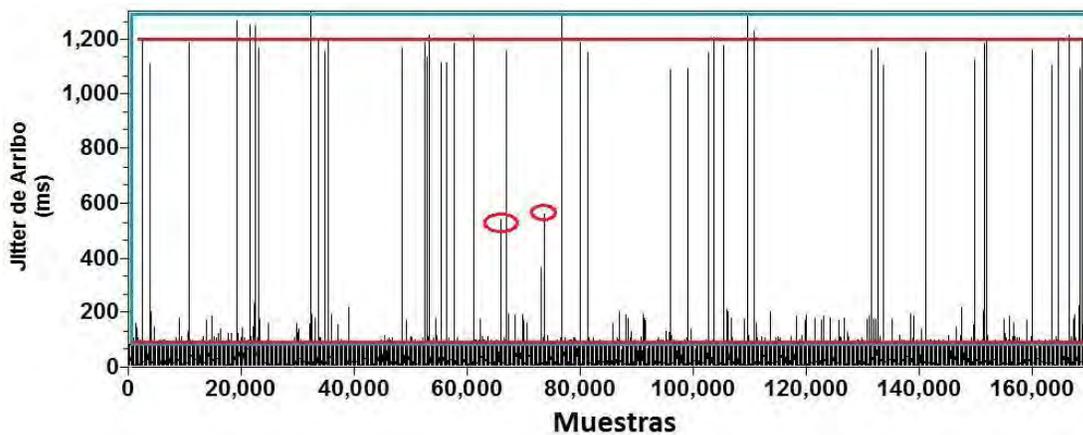


Figura 36 Jitter: (CT8, 11:00hrs) - Acercamiento de Figura 35

Como análisis final, se realizó la comparación de OWD y PLR, para los dos esquemas de codificación utilizados (G.711 y GSM). Las Figuras 37 y 38 muestran este estudio.

Como se puede observar en estas figuras el CODEC GSM es más vulnerable a sufrir pérdidas y retardos.

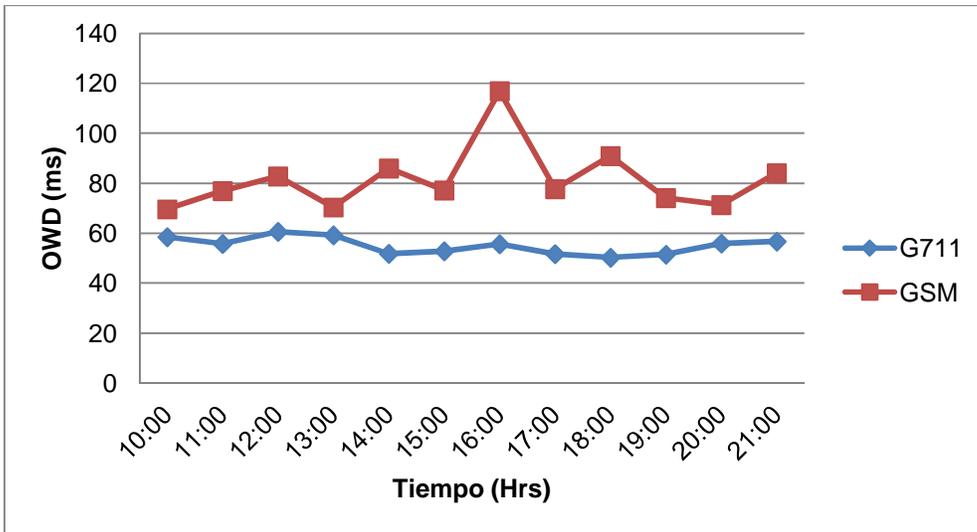


Figura 37 Comparación de OWD entre G.711 y GSM: CT1 y CT4

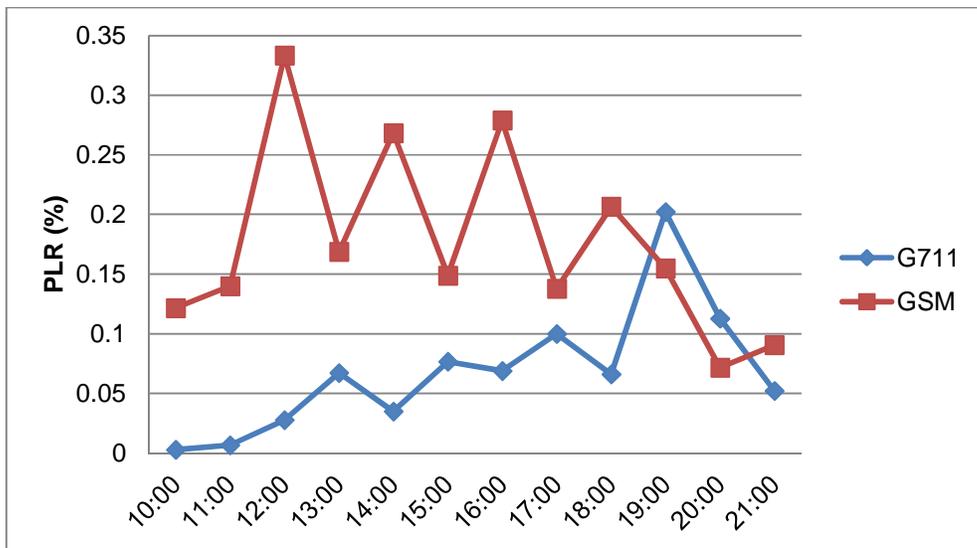


Figura 38 Comparación de PLR entre G.711 y GSM: CT1 y CT4

Referencias

- [1] ITU-T, "G.107: The E-Model, a computational model for use in transmission planning," Telecommunication Standardization Sector, Geneva, Switzerland, 2009.
- [2] P. Calyam, M. Sridharan, W. Mandrawa y P. Schopis, Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic, The 5th annual Passive & Active Measurement Workshop - PAM, Springer in the Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Antibes Juan-les-Pins, France, April 19-20, 2004, p.p. 137-146.
PLR
- [3] S. Karapantazis y F.-N. Pavlidou, VoIP: A comprehensive survey on a promising technology, Computer Networks, 53 (12) (2009) 2050-2090. OWD y Jitter
- [4] Homero Toral Cruz, QoS Parameters Modeling of Self-similar VoIP Traffic and an Improvement to the EModel, Tesis de doctorado, 2010.

Capítulo 7 – Conclusiones

Los sistemas de VoIP funcionan utilizando un hardware (teléfono común) o un software (softphone) como punto extremo, codifican la voz para su envío en forma de paquetes sobre la red IP, utiliza protocolos de señalización para poder realizar la comunicación entre dispositivos y realiza el proceso inverso al llegar a su destino, eliminando los encabezados y realizando el proceso de decodificación para que el usuario final la pueda escuchar en el punto extremo.

El uso un protocolo de señalización es de suma importancia en VoIP, porque permite que los componentes de red se comuniquen entre sí, además de crear y terminar llamadas. H.323 y SIP son 2 de los protocolos más conocidos y usados en la actualidad.

Como se observa en la Figura 13, se logró implementar un escenario VoIP inalámbrico con todos los componentes necesarios para realizar las mediciones que utilizaríamos durante este proyecto de tesis, logrando de esta manera una captura del tráfico de VoIP exitosa.

Se utilizó una aplicación en software (Softphone) para poder generar tráfico VoIP en un ambiente inalámbrico. La tabla 17 resume el conjunto de patrones de tráfico capturado.

Finalmente, como resultado de nuestro estudio sobre el análisis y caracterización del tráfico VoIP, se puede concluir lo siguiente:

- Se evaluó el desempeño de la red VoIP inalámbrica mediante el Modelo E y MOS.
- El parámetro OWD tuvo mayor impacto en la calidad de servicio en los enlaces de 20MHz, sin embargo el PLR paso desapercibido, pues presento valores muy bajos.
- En el enlace de 10MHz ya se vio reflejado el impacto de las pérdidas de paquetes.

- En los casos donde el PLR impacto negativamente en la QoS, se encontró que esto fue debido al excesivo nivel de pérdida en ráfagas.
- Existe un compromiso entre el OWD, PLR y MOS. Si el OWD presenta un valor grande y el PLR presenta un valor pequeño, se mantiene un nivel bueno de QoS, de tal manera que retardos grandes son compensados con pérdidas pequeñas.
- GSM resulto ser más sensible tanto al OWD como al PLR, obteniendo valores superiores a los de G711.