



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS DE VoIP EN REDES
DE ACCESO INALÁMBRICAS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

MANUEL OSWALDO FLORES CORDERO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a mis Padres Blanca y Manuel, quienes con sus esfuerzos y dedicación lograron darme la educación necesaria para poder seguir adelante y ser la persona que hoy soy.

A mis Hermanos, Cuñados y a mi esposa Esther que siempre han estado ahí para apoyarme.

A mi Director de Tesis Dr. Álvaro Suarez Sarmiento por su ayuda incondicional, así como al Dr. Boris Ramos y al Dr. Nelson Pérez García por sus consejos.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado para mis hijos Jennifer y Manuel, que me llenan de alegría y felicidad.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



.....
Sixto Ernesto García Aguilar, Ph.D.

SUBDECANO DE LA FIEC



.....
Álvaro Suárez Sarmiento, Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



.....
Boris Ramos, Ph.D.

MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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



Manuel Oswaldo Flores Cordero

RESUMEN

No cabe duda que cada vez es mayor el uso por parte de los usuarios de los sistemas inalámbricos de comunicaciones, debido a la posibilidad de recepción portable y móvil, facilidad de implementación, flexibilidad para afrontar crecimiento de la demanda, entre otras ventajas. Entre los servicios que se pueden brindar a través de dichos sistemas está el de voz sobre el protocolo de Internet, mejor conocido como *VoIP (Voice over IP)*. Sin embargo, dicho servicio no es sencillo de implementar, ya que, entre otras cosas, es dependiente de la naturaleza cambiante del medio de propagación inalámbrico, que incide directamente sobre los parámetros de calidad de servicio del sistema.

En el presente trabajo se hace una revisión de los aspectos relacionados con la tecnología VoIP, en lo concerniente a su implementación (codecs, protocolos, etc.), las implicaciones de su uso, los parámetros que la caracterizan, las soluciones a los problemas inherentes a su uso en sistemas inalámbricos de telecomunicaciones (tales como retardo, ecos, jitter, pérdidas de paquetes, entre otros) que afectan la *Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service)*. Al respecto, el énfasis como solución de esos problemas se hace el uso del *Protocolo de Reservación (RSVP, Resource Reservation Protocol)*, que es una de las soluciones más eficientes de esos problemas. La efectividad de RSVP en el objetivo perseguido es comprobada mediante la emulación de una red WiFi sobre la cual se transmiten servicios de datos, video y VoIP, con y sin implementación de QoS usando RSVP.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	iv
DECLARACION EXPRESA	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO 1	1
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1 Descripción del Problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Metodología de la Investigación.....	3
1.5 Resultados Esperados	3
1.6 Elementos Diferenciadores o Innovadores.....	4
CAPÍTULO 2	5

2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS INALÁMBRICOS	5
2.1 Sistemas Inalámbricos.....	5
2.1.1 LAN Inalámbrica.....	6
2.1.2 Banda Ancha Inalámbrica.....	7
2.1.3 Bluetooth y Zigbee.....	8
2.1.4 Sistemas Celulares.....	9
2.1.5 Sistemas Satelitales.....	11
2.2 Conceptos Básicos.....	12
2.3 Sistemas 4G.....	13
CAPÍTULO 3	16
3. VOZ SOBRE IP (VoIP)	16
3.1 Introducción al Concepto VoIP.....	16
3.2 Protocolos para Manejo específico de VoIP.....	20
3.2.1 H.323.....	21
3.2.2 SIP.....	23
3.3 Protocolo de Reserva de Recursos.....	24
3.4 Protocolo de Internet Móvil.....	26
3.5 Mobile IPv6 Jerárquicos.....	27
CAPÍTULO 4	29
4. QoS EN REDES TODO-IP Y ASPECTOS LEGALES	29
4.1 Aspectos de QoS.....	29
4.1.1 Problemas que afectan a la QoS de la VoIP en	

LAN inalámbricas.....	30
4.1.2 Parámetros típicos de QoS en LAN inalámbricas	34
4.2 Aspectos Legales.....	38
4.2.1 Bases legales del uso de VoIP en redes inalámbricas en el Ecuador	38
4.2.2 Propuesta de uso legal y análisis del mercado potencial	41
CAPÍTULO 5	45
5. ANÁLISIS DEL USO DE RSVP EN REDES INALÁMBRICAS	45
5.1 Descripción General.....	45
5.2 IP-sobre-IP encapsulado.....	46
5.3 Protocolo de reserva de recursos móviles RSVP	47
5.4 Las interrupciones de la QoS.....	51
5.5 Descripción general del protocolo	55
5.6 Establecimiento de una sesión RSVP	56
5.7 Rendimiento y nivel de aplicación	58
5.8 Análisis y Discusión	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXO A	79
A. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO	79
A.1 Instalación y configuración de GNS3.....	79
A.1.1 Iniciando GNS3	79

A.2 Instalación y configuración de Zoiper.....	82
ANEXO B	85
B. CONFIGURACIÓN DE LOS ROUTERS	85
B.1 Configuración del router R1	85
B.2 Configuración del router R2.....	88
ANEXO C	92
C. GLOSARIO	92
ANEXO D	93
D. ABREVIATURAS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Estructura de protocolos de VoIP.....	20
Figura 3.2. Interacción entre los componentes de H.323.....	21
Figura 3.3. Componentes de servicios integrados en un router ISPN.....	25
Figura 4.1. Retardo de Terminal a Terminal.....	36
Figura 4.2. Variabilidad del retardo	36
Figura 4.3. Pérdida de paquetes.....	37
Figura 4.4. Porcentaje de uso de telefonía en el hogar.....	42
Figura 4.5. Porcentaje de acceso a internet por área.....	43
Figura 4.6. Porcentaje de acceso a internet Nacional.....	43
Figura 4.7. Porcentaje de población con celular y redes sociales.....	44
Figura 5.1. Intercambio de paquetes en una sesión RSVP.....	51
Figura 5.2. Red emulada para análisis del flujo de datos de la VoIP empleando diferentes códec y usando RSVP sobre una red inalámbrica	59
Figura 5.3. Diagrama de conexión realizada en GNS3 con router Cisco c7200....	60
Figura 5.4. Configuración del encaminador R1.....	61
Figura 5.5. Configuración del encaminador R2.....	61
Figura 5.6. Valores durante transferencia de datos (sin opciones de QoS).....	63
Figura 5.7. Valores durante transferencia de videos (sin opciones de QoS).....	63
Figura 5.8. Valores durante transferencia de VoIP (sin opciones de QoS).....	64

Figura 5.9. Valores durante transferencia de datos (QoS implementada).....	65
Figura 5.10. Valores durante transferencia de video (QoS implementada).....	65
Figura 5.11. Valores durante transferencia de VoIP (QoS implementada).....	66
Figura 5.12. Canal de cada red WiFi activa.....	68
Figura 5.13. Nivel de potencia recibida en cada red WiFi activa.....	69
Figura A.1. Registro en GNS3.....	79
Figura A.2. Selección del encaminador.....	80
Figura A.3. Topología a simular.....	81
Figura A.4. Selección de salida de red WiFi.....	81
Figura A.5. Selección de salida de red Ethernet.....	82
Figura A.6. Selección del sistema operativo.....	83
Figura A.7. Configuración de ZoiPer.....	83
Figura A.8. Creación de la cuenta de cliente.....	84
Figura A.9. Teléfono virtual ZoiPer.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Banda de frecuencias satelitales.....	12
Tabla 2: Ejemplos MOS para los codec ITU-T.....	19
Tabla 3: Codificador y tiempo de la trama.....	31
Tabla 4: Encabezado del mensaje RSVP ...	55
Tabla 5: Encabezado del mensaje de un objeto.	56
Tabla 6: Valores de las métricas registradas en el conmutador sin aplicar QoS.....	64
Tabla 7: Valores de las métricas registradas en el conmutador con Implementación de QoS	66

INTRODUCCIÓN

Con las exigencias prácticamente indetenibles por parte de los usuarios de los sistemas de telecomunicaciones por la cada vez mayor cantidad de servicios, mayores velocidades de transmisión y mejores calidad de servicio, el norte de los sistemas de telecomunicaciones apunta hacia redes totalmente basadas en IP (*All-IP*). En ese sentido, en los últimos años, la investigación y desarrollo en tecnologías asociadas a la comunicación de voz a través del *Protocolo de Internet (IP, Internet Protocol)* ha ganado gran interés, incluyendo el escenario de los sistemas inalámbricos de comunicaciones, incluyendo, las redes inalámbricas de datos o WiFi.

Sin embargo, las características cambiantes de forma aleatoria del canal de radio, así como la portabilidad y movilidad del usuario, supone nuevos retos asociados a la *Calidad del Servicio (QoS, Quality of Service)*, ya que, factores como la interferencia, desvanecimiento de la señal y el retardo en la comunicación pueden ser de tal magnitud que afectan dicha QoS hasta, incluso tornar inviable la comunicación.

Afortunadamente, ese uso cada vez más creciente de los sistemas inalámbricos de comunicaciones y en especial de las redes WiFi (por su particularidad de operar en las llamadas bandas libres, es decir, no licenciadas), ha fomentado que cada vez sean más estudiados los problemas inherentes a la implementación de VoIP en los referidos sistemas, lo que ha conllevado a proponerse nuevas soluciones que permiten mitigar los problemas y de esa manera garantizar transmisiones más seguras y confiables para el beneficio de todos los usuarios.

En ese sentido, en este trabajo se presenta un estudio de los problemas asociados a la comunicación de *Voz sobre IP (VoIP)* en redes inalámbricas, y se analizan posibles soluciones para los mismos. Asimismo, se analiza el escenario actual de Ecuador en materia de regulación de las telecomunicaciones, así como en términos del uso de las tecnologías de telecomunicaciones en el país, con el fin de evaluar la factibilidad de impulsar el servicio de VoIP en Ecuador. Adicionalmente, como un valor agregado, se

implementa una emulación para la realización de las pruebas, en un entorno simulado a través de GNS3, con miras a evaluar la efectividad de la implementación de QoS mediante RSVP.

Ahora bien, en relación al texto del trabajo, para una mejor comprensión del mismo, se ha estructurado los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: se analiza el problema a resolver con su debida justificación, se establecen los objetivos, la metodología, así como los resultados que se esperan obtener y los elementos innovadores o diferenciadores presentes en el trabajo.
- Capítulo 2: se hace una revisión sobre los principales aspectos de los sistemas inalámbricos de comunicaciones, tales como redes de banda ancha, sistemas celulares, sistemas satelitales y sistemas de cuarta generación (4G).
- Capítulo 3: comprende una revisión sobre los fundamentos de la VoIP, los codecs y protocolos asociados al servicio, incluyendo el protocolo RSVP.
- Capítulo 4: se abordan los problemas inherentes al servicio de VoIP sobre redes inalámbricas y sus posibles soluciones. También se hace una revisión de los aspectos legales de las telecomunicaciones en Ecuador y del escenario de uso de los servicios de telecomunicaciones en el país.
- Capítulo 5: comprenden un estudio detallado del protocolo RSVP y se realizan pequeñas, pero no por ello, no menos importantes, pruebas del impacto positivo de su uso en una red WiFi, usando para ellos una emulación.

CAPÍTULO 1

1. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se abarca lo concerniente al problema a ser resuelto en el presente trabajo, así como el por qué se justifica encontrar solución al mismo. El capítulo también incluye los objetivos diseñados para resolver el problema planteado y la metodología seguida para alcanzar dichos objetivos. Finalmente, se resumen los resultados esperados y los elementos diferenciadores o innovadores del trabajo.

1.1. Descripción del problema

En los últimos años, las redes inalámbricas, incluyendo las móviles, han evolucionado muy rápidamente hasta llegar soportar el concepto *Todo-IP (All-IP)* permitiendo la implantación de servicios como la *voz sobre IP (VoIP, Voice over IP)*. La VoIP se ha desarrollado a gran escala y en los últimos años ha llegado a niveles competitivos con respecto a otras tecnologías de telefonías tradicionales. Ahora bien, el incremento en el uso de este servicio y su globalización a través de las redes inalámbricas, han generado complicaciones de tipo técnico y legal, las cuales, cuando fue creado el servicio no fueron considerados.

Desde el punto de vista técnico, así como en relación a la *calidad de servicio (QoS, Quality of Service)*, los problemas se deben principalmente al hecho de que la VoIP debe operar en tiempo real, lo que redundaría en la necesidad de una entrega oportuna de los paquetes y no al reenvío de los paquetes.

En el caso concreto de los sistemas inalámbricos, es necesario tomar en cuenta que la implementación de la VoIP además de presentar los problemas arriba descritos, podría tener las limitaciones propias que tienen los sistemas inalámbricos relacionados con la interferencia, la variación aleatoria de la intensidad de señal

recibida, el ancho de banda disponible y la desconexión por desplazamiento del receptor.

1.2. Justificación

Es latente pues, la necesidad de analizar nuevas alternativas y técnicas para que la tecnología VoIP no colapse y adicionalmente sea competitiva en términos de QoS. En ese sentido, se requiere implementar mecanismos de control de la red, a fin de solucionar tales problemas, para lo cual a su vez es preciso llevar a cabo el debido estudio para vislumbrar soluciones que permitan mitigar esos problemas relacionados con la QoS en las aplicaciones de VoIP en redes inalámbricas, considerando que de no tomarse a tiempo algún tipo de medidas correctivas, las implicaciones a corto y largo plazo serían alarmantes, ya que el servicio como tal tendería a colapsar.

Adicionalmente, en un mercado cada vez más globalizado, en el cual la prestación de servicios se puede llevar a cabo de manera virtual, se requiere mantener ese tipo de aplicaciones, ya que la misma implica costos más bajos para los servicios de comunicación de voz con relación con las tradicionales redes telefónicas conmutadas; además, el servicio de VoIP en redes inalámbricas tiene la ventaja de la portabilidad por parte del usuario.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estudiar los problemas inherentes al uso de VoIP sobre redes Inalámbricas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar los principios de funcionamiento de diferentes sistemas inalámbricos.
- Conocer acerca de los problemas existentes en las redes inalámbricas.
- Determinar las implicaciones legales en el Ecuador por el uso de VoIP en redes Inalámbricas.

- Analizar la utilidad del *Protocolo de Reserva de Recursos (RSVP, Resource Reservation Protocol)* en sistemas inalámbricos, para contrarrestar los problemas del uso de la VoIP en dichos sistemas.

1.4. Metodología de la Investigación

Básicamente, el desarrollo del trabajo se lleva a cabo en 3 fases.

La primera fase de la investigación se enmarca en un estudio descriptivo, en el cual se analizan los problemas y sus causas, así como las consecuencias y posibles soluciones, en el uso de la VoIP en redes inalámbricas. Esta fase se basa en algunas de las experiencias y resultados reportados en la literatura al respecto.

En la segunda fase, se procede a la clasificación sistemática de los aspectos más relevantes y de mayor importancia relacionados con los problemas que aparecen sobre la VoIP, cuando dicho servicio es implementado en redes inalámbricas.

La tercera y última fase, contempla, a pesar de no formar parte de los objetivos inicialmente propuestas para este trabajo, un valor agregado del mismo mediante la implementación de una maqueta virtual para la realización de algunas pruebas sobre métricas de evaluación de desempeño de la VoIP en redes inalámbricas. Con ello, se busca la mejora de las asignaciones de recursos en las redes inalámbricas de acceso, con el fin de cumplir con la QoS de las aplicaciones de la VoIP en tiempo real, y al mismo tiempo manteniendo en niveles altos, la utilización de los recursos.

1.5. Resultados esperados

En el presente trabajo arroja dos principales contribuciones, las cuales son:

- Estudio descriptivo de la situación legal del uso de la VoIP en el Ecuador y sus alcances.
- Uso de RSVP en sistemas inalámbricos para mejorar la VoIP.

1.6. Elementos diferenciadores o innovadores

En la actualidad, no son muchos los estudios, con un enfoque global consolidado, reportados en la literatura acerca de las implicaciones que tiene del uso del servicio de VoIP en las redes inalámbricas, tal como es el deterioro en su QoS.

Este estudio abarca en forma más detallada los problemas de la red inalámbrica en el uso de VoIP, así como también presenta un aporte que puede servir de base para continuar el estudio de las posibles soluciones o cambios que deberían ser considerados para mejorar el servicio.

Adicionalmente, hasta donde se tenga conocimiento, en la ESPOL no se ha llevado a cabo un estudio de este tipo.

CAPÍTULO 2

2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS INALÁMBRICOS

En el presente capítulo, se aborda sucintamente el concepto de una *Red Inalámbrica de Área Local* (WLAN, *Wireless Local Area Network*) inalámbrica y algunos de los estándares existentes para dichas redes. También se hace una breve revisión acerca de la tecnología de banda inalámbrica, se estudian las características más resaltantes de algunas de las tecnologías y/o sistemas de banda ancha como lo son Bluetooth y ZigBee, sistemas celulares, satelitales y examinando algunos de los factores que diferencian una tecnología de la otra.

2.1. Sistemas Inalámbricos

Como bien es conocido, el medio de transmisión en un sistema de telecomunicaciones puede ser cableado (par de cobre, par trenzado, fibra óptica y línea de energía eléctrica) o inalámbricos. Evidentemente, el uso de un determinado medio de transmisión por parte del operador del servicio depende de diversos factores, tales como ancho de banda requerido, entorno en el que se encuentran localizados los usuarios, cobertura que se desea alcanzar.

En el caso específico de los sistemas inalámbricos, los mismos tienen como principales ventajas sobre sus homólogos cableados el menor costo de inversión y menor tiempo de implantación, flexibilidad para cambios en la red con el fin de atender incrementos de demanda y resolver problemas de cobertura, una alta portabilidad y posibilidad de movilidad, incluso a velocidades vehiculares, entre otras.

No obstante, los sistemas inalámbricos tienen la desventaja de depender de un canal de comunicación (el aire) que es extremadamente aleatorio, lo cual ocasiona, por ejemplo, que ocurran interferencias de otros sistemas inalámbricos como los son otras WLAN que se encuentren operando alrededor del sitio, redes de sensores

inalámbricos, sistemas Bluetooth, entre otros. Además, la señal recibida está sujeta a variaciones alrededor de su nivel medio que pueden llegar a ser severas dejando indisponible el sistema por periodos de tiempo, la *Tasa de Error del Bit (BER, Bit Error Rate)* supere a la máxima permitida por el sistema, la velocidad de transmisión disminuya, etc. Asimismo, los sistemas inalámbricos son sospechosos de causar afectaciones a la salud de las personas por los niveles de radiación electromagnética que produce. Además, los tiempos de retardo que sufre la señal en su camino desde el transmisor al receptor tienden a ser mayores que los que se presentan en sistemas cableados de banda ancha, como es el caso de los sistemas por fibra óptica.

2.1.1. LAN Inalámbrica

Como bien es conocido, una WLAN es capaz de comunicar a alta velocidad en áreas de cobertura cuyo tamaño depende del estándar WLAN considerado. Ello permite que los usuarios puedan desplazarse de un punto a otro, a baja velocidad, sin la interrupción del servicio (teóricamente).

Las bandas de frecuencia de operación más comunes usadas por las WLAN son aquellas consideradas no licenciadas o libres, específicamente 900 MHz, 2,4 GHz y 5,8 GHz, pero por ser dichas bandas libres, éstas puedan ocasionar o recibir interferencia desde otros dispositivos que estén operando en la misma banda [1].

Las primeras WLAN operaron en 900 MHz, con una velocidad máxima de comunicación de 2 Mbps [2]; pero los costos de producción de los equipos era elevado, los volúmenes de ventas eran bajos y los mercados quedaron segmentados debido a la incompatibilidad con equipos de otros fabricantes.

En 1999, se lanzó el estándar *Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers)* 802.11b, con velocidades de comunicación de hasta 11 Mbps, en la banda 2,4 GHz [3].

Posteriormente, se publicaron más estándares IEEE para WLAN, tales como IEEE 802.11e. Sin embargo, no fue sino hasta el año 2003, en que se publicó

el estándar IEEE 802.11g, el cual revolucionó las WLAN, ofreciendo velocidad de comunicación hasta 54 Mbps, en la misma banda de 2,4 GHz [3]. Una gran ventaja de dicho estándar fue que sus equipos fueron desde un inicio compatibles con el estándar IEEE 802.11b. Actualmente, existen equipos con potencia de comunicación de hasta medio vatio que pueden alcanzar distancias de hasta 50 Km [4].

Adicionalmente, en la actualidad se han están desarrollando estándares IEEE para WLAN, tal como la norma 802.11ac, que permite alcanzar velocidades de comunicación de hasta 1 Gbps [5].

2.1.2. Banda Ancha Inalámbrica

Se denomina *banda ancha inalámbrica* a la banda que proporciona una elevada velocidad de comunicación. Por lo general, el término *banda ancha* suele utilizarse para referirse al acceso en alta velocidad a Internet, lo que permite que los usuarios puedan descargar imágenes, música, vídeos, realizar conexión sobre VoIP y videoconferencia en entornos Web.

Entre los sistemas inalámbricos de comunicaciones usados para banda ancha están *Banda Ultra Ancha (UWB, Ultra Wideband)* [6], *Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN, Wireless Personal Area Network)* [7], *Fidelidad Inalámbrica (WiFi, Wireless Fidelity)*, por ejemplo IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, entre otros [8], *Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (WiMax, Worldwide Interoperability for Microwave Access)* [9], *Acceso a Paquetes a Alta Velocidad (HSPA, High Speed Packet Access)* [10], LTE [11], *Sistema de Distribución Local Multipunto (LMDS, Local Multipoint Distribution Services)* [12], *LiFi (Light Fidelity)* [13].

Es importante tener en cuenta que en las redes inalámbricas de banda ancha, y en general, en los sistemas inalámbricos de comunicaciones, una limitante

de los mismos es que si se desea comunicar la información a mayor velocidad, menor será el área de cobertura.

Asimismo, es oportuno resaltar que el término banda ancha también aplica para tecnologías de redes alámbricas, tales como, *Línea de Abonado Digital* (*xDSL*, *x Digital Subscriber Line*) [14], Ethernet [15], entre otras.

A continuación, se abordan brevemente las principales características de algunos de los sistemas inalámbricos de banda ancha citados anteriormente.

2.1.3. Bluetooth y ZigBee

Bluetooth y ZigBee son dos de los sistemas inalámbricos destinados a brindar conexiones de corto alcance entre dos equipos inalámbricos, como por ejemplo, entre un computador portátil y una cámara de video, entre otras. Ambos sistemas se enmarcan en el grupo de las WPAN.

Bluetooth [16] fue lanzado en 1994, por la empresa Ericsson, con la finalidad de contar con un sistema de radio con bajo consumo de energía y al mismo tiempo bajo costo. Posteriormente, se aliaron las empresas Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel para desarrollar dispositivos con dicha tecnología, que pudieran comunicarse entre sí.

Bluetooth opera en la banda de frecuencias comprendida entre 2,4 GHz a 2,8 GHz, con potencia de comunicación desde 1 mw (0 dBm), para una cobertura de 10 m, hasta 100 mw (20 dBm) para una cobertura hasta los 100 m.

Por operar en la banda libre de 2,4 GHz, Bluetooth puede ser usado en todo el mundo sin ningún problema al no existir restricción alguna de licenciamiento de frecuencias.

Cada canal en Bluetooth soporta una velocidad de comunicación de 64 Kbps, pudiendo alcanzar hasta los 721 Kbps en un canal asíncrono, aunque según la norma de IEEE que especifica las características técnicas de Bluetooth, es

decir, IEEE 802.15.1, la velocidad nominal de comunicación es de hasta 1 Mbps.

Bluetooth es empleado generalmente en el servicio de Internet, audio de alta definición y video *streaming*.

Por su parte, ZigBee [17] fue concebido para reducir el consumo de energía en comparación con Bluetooth, así como para obtener un estándar para redes inalámbricas que utilice pequeños paquetes de información para la comunicación y además, garantice la seguridad y confiabilidad de dicha comunicación. Fue desarrollado según la norma IEEE 802.15.4 y entre sus aplicaciones destaca la domótica, generalmente en forma de sensores y/o actuadores individuales, con costo económico y de energía relativamente bajos. Adicionalmente, ZigBee puede ser utilizado para la comunicación de texto e imágenes.

ZigBee opera en las bandas de frecuencias de 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz, siendo esta última la más utilizada por ser la de la banda no licenciada. La velocidad de comunicación puede alcanzar hasta los 250 Kbps.

Mientras que un radio ZigBee tiene un consumo promedio de energía de 30 mA cuando está en operación, y de 3 μ A cuando se encuentra en reposo, un radio Bluetooth consume en promedio 40 mA cuando transmite y 0,2 mA cuando está en reposo. Adicionalmente, mientras que Bluetooth cubre una distancia de hasta 100 m, ZigBee puede superar 1 Km.

2.1.4. Sistemas Celulares

Los sistemas celulares [18], también conocidos como sistemas de comunicaciones móviles, constituyen tal vez la tecnología con más rápido crecimiento en los últimos 50 años. Asimismo, representa uno de los negocios más rentables en el mundo.

Actualmente, los sistemas celulares ofrecen servicios de voz, audio, video, datos a alta velocidad, entre otros, en cualquier momento y en cualquier lugar del planeta.

La clave del éxito de un sistema celular es el reutilización de frecuencia, con lo cual dicho sistema pudo incrementar su capacidad de atender usuarios de manera simultánea. El área de cobertura de un sistema celular se divide en celdas o células que no se superponen (apenas se solapan en sus extremos). A cada celda se le asigna un grupo de canales del total de canales del sistema. De esa manera, un mismo grupo de canales puede ser reutilizado por otras celdas que se encuentren localizadas a una cierta distancia recomendable, llamada *distancia de reutilización* [19].

De acuerdo a la distancia de cobertura que pueden alcanzar, las celdas o células se clasifican en macro, micro, pico y femto [20], siendo las primeras las que mayor área de cobertura abarcan (hasta aproximadamente 20 Km), mientras que las femto celdas son estaciones celdas instaladas en ambientes interiores en los que la cobertura del sistema es deficiente, con alcances hasta aproximadamente 30 m.

Celdas con cobertura pequeñas, son más económicas, atienden mayor cantidad de usuarios de manera simultánea, transmiten a menor potencia y reducen la potencia requerida de las unidades de usuario, aumentando la duración de la batería de dichas unidades [21].

Además de la reutilización de frecuencias, otra de las características que diferencian a los sistemas de comunicaciones móviles, es el *handoff* o *handover*, mecanismo que hace posible que los usuarios se desplacen entre las celdas que conforman el área de cobertura total del sistema, sin que pierda la comunicación, inclusive a velocidades vehiculares [22].

Otro aspecto importante relacionado con los sistemas celulares es lo concerniente a la técnica empleada para que el usuario acceda al medio. En

ese sentido, la técnicas más conocidas con *Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA, Frequency Division Multiple Access)*, *Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA, Multiple Division Multiple Access)* y *Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access)* [23].

Los sistemas celulares, desde su lanzamiento en la década de los años 80, han ido evolucionando en cuando a capacidad, cobertura, mitigación de interferencias, y tipos de servicios soportados. Actualmente, en gran parte del mundo coexisten sistemas celulares de segunda, tercera, cuarta y quinta generación, es decir, sistemas 2G, 3G, 4G y 5G (actualmente, en fase exploratoria), así como versiones, por así decirlo, intermedias entre algunas de esas generaciones, tal es el caso de los sistemas 2.5G y 3.5G.

2.1.5. Sistemas Satelitales

Los sistemas de comunicación vía satélite también forman parte del grupo de redes inalámbricas de banda ancha, pero con la característica muy particular de ser los sistemas, dentro de ese grupo, que mayor área de cobertura brinda (hasta aproximadamente 1/3 de la superficie de la Tierra, con un satélite geoestacionario), lo que permite la prestación de servicios de banda ancha en escenarios donde es prácticamente imposible lograrlo con las demás tecnologías inalámbricas, como por ejemplo, barcos, aviones y lugares remotos donde no existe ningún tipo de infraestructura [24].

Esa gran área de cobertura se debe al hecho de que precisamente el satélite, que hace las veces de un repetidor activo, se encuentra localizado a una altura muy elevada respecto al nivel del mar, lo que hace que su *spot* o *huella* o *pisada* sea considerablemente grande.

Precisamente, en términos de la altura del satélite respecto al nivel del mar, la órbita del satélite, respecto a la Tierra, puede ir desde la más cercana al planeta, llamada *Órbita Baja (LEO, Low Earth Orbit)*, con altura entre 500 Km y 2000 Km, hasta la más alejada, conocida como *Órbita Geoestacionaria*

(*GEO, Geostationary Earth Orbit*), con un altura de aproximadamente 35.790 Km, pasando por la *Órbita Media (MEO, Medium Earth Orbit)*, a una altura entre 8000 Km y 20000 Km.

Existen diversas bandas de frecuencia de operación para los sistemas satelitales, las cuales son resumidas en la Tabla 1 [25], incluyendo los usos más frecuentes para cada banda.

Banda	Frecuencia (GHz)	Uso
L	1,0 - 2,0	Comunicaciones móviles
S	2,0 - 3,0	Comunicaciones móviles, servicio satelital fijo, enlaces intersatelitales
C	4,0 - 6,0	Televisión y radiodifusión sonora analógica, Internet
X	8,0 - 11,0	Gubernamental y militar
Ka	11,0 - 17,00	Televisión y radiodifusión sonora digital, Internet, comunicaciones industriales
K	18,0 - 20,0	Televisión y radiodifusión sonora digital, comunicaciones industriales
Ku	20,0 - 40,0	Comunicación de datos, intersatelitales

Tabla 1: Bandas de frecuencias satelitales

2.2. Conceptos básicos

Los principales fundamentos básicos de los sistemas inalámbricos de comunicaciones ya han sido mencionados en los ítems anteriores, como lo son la frecuencia de operación, la cobertura, la velocidad de transmisión y la variabilidad temporal del nivel de la potencia recibida.

En ese sentido, se tiene que a medida que aumenta la frecuencia de operación el sistema el ancho de banda disponible para un determinado operador también aumenta, razón por la cual se puede contar con canales con mayor capacidad para

albergar también mayores velocidades de información. Sin embargo, a medida que aumenta dicha frecuencia, aumentan las pérdidas de propagación, con la consecuente mayor disminución en el nivel de potencia recibido y, por tanto, también la disminución de la cobertura del sistema y el deterioro de la *relación señal/interferencia* (S/I) o la BER [19].

Por su parte, en la mayoría de los sistemas inalámbricos de telecomunicaciones, tal es el caso de las redes WLAN, uno de los mecanismos de propagación imperantes es el de la múltiple trayectoria, el cual se debe al hecho de que la señal arriba a la antena receptora a través de diversos caminos producto de reflexiones, difracciones y dispersiones que la señal sufre en su recorrido desde la antena transmisora hasta la antena receptora. El campo eléctrico recibido y, por tanto, el nivel de potencia recibida es consecuencia de la sumatoria vectorial de cada uno de los campos eléctricos asociados a cada trayectoria, suma que puede ser constructiva o destructiva, conllevando a la variación de la señal en el tiempo, pudiendo ocasionar desvanecimientos rápidos y severos que dejan fuera del aire al sistema [19, 22].

Otro fundamento básico de los sistemas inalámbricos de las telecomunicaciones es el retardo que sobre el arribo de la señal al receptor ocasiona el canal inalámbrico, retardo que dependiendo de su magnitud puede causar *interferencia intersimbólica* (ISI, *Inter symbol Interference*), la cual a su vez aumenta la BER que puede ocasionar que el receptor no interprete adecuadamente la información recibida [19]. En ese sentido, en los sistemas inalámbricos de telecomunicaciones es importante medir el perfil de los retardos a fin de tomar las medidas que mitiguen la ISI, como por ejemplo, el incremento del intervalo de guarda en la técnica de *Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia* (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) [25].

2.3. Sistemas 4G

Conocidos también como sistemas de cuarta generación de comunicación móvil, representan un avance tecnológico que elimina por completo los circuitos

conmutados de intercambio y está basado completamente en tecnología IP, logrando así la convergencia de todas las redes inalámbricas, cableadas y toda clase de dispositivos electrónicos inteligentes [25].

Entre los sistemas 4G destaca LTE (*Long Term Evolution*) [11, 26], cuya norma fue desarrollada por la *Asociación de Proyecto de Tercera Generación (3GPP, Third Generation Partnership Project)*, a partir del *Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM, Global System for Mobile communications)* y el *Acceso a Paquetes a Alta Velocidad (HSPA, High Speed Packet Access)*. Provee elevadas velocidades de comunicación, reduce el costo por bit para las operadoras y tiene la capacidad de ofrecer un mejor rendimiento y menor latencia en la comunicación de los servicios [27].

LTE, cuyo desarrollo se inició en 2005, está basado en el *Sistema Evolucionado de Paquetes (EPS, Evolved Packet System)*, el cual a su vez proviene de la *Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionada (E-UTRAN, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)* [26, 28]. Su primera operación comercial tuvo lugar en 2009 [26].

Con un núcleo completamente IP, LTE incorpora una nueva tecnología de interfaz aérea basada en el *Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access)* para el *enlace de bajada (downlink)* y el *Acceso Múltiple de División de Frecuencia de Portadora Única (SC-FDMA, Single Carrier - Frequency Division Multiple Access)* para el *enlace de subida (uplink)*. Además, puede soportar canales eficientes con ancho entre 1,25 MHz y 20 MHz [11]. Asimismo, soporta velocidades de 50 Mbps en el enlace de subida y hasta 100 Mbps en el enlace de bajada y es compatible con las plataformas de GSM y HSPA.

LTE evolucionó para *LTE Avanzado (LTE-A, LTE Advanced)*, el cual soporta canales de ancho mayor a los 20 MHz, incorpora técnicas mejoradas de diversidad de

Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (MIMO, Multiple-input Multiple-output)
mejorada, optimizar el soporte para redes heterogéneas [27].

CAPÍTULO 3

3.VOZ SOBRE IP (VoIP)

En el presente capítulo, se explican algunos de los detalles concernientes a VoIP, tal como los diferentes tipos de codecs que se utilizan para su comunicación, así como protocolos que hacen parte importante de esta tecnología.

3.1. Introducción al Concepto de VoIP

VoIP [29], es un servicio que, haciendo uso de una serie de normas, dispositivos y protocolos, permiten que la voz se comunique empaquetada, sobre IP. El proceso de VoIP comienza en un terminal de VoIP, el cual puede ser un teléfono IP, un computador con interfaz para VoIP o una pasarela (*Gateway*) o encaminador (*router*) que convierte a las señales de telefonía tradicional (analógica o digital) a VoIP. En todos los casos, el terminal entrega a la red IP la voz digitalizada, codificada y comprimida. Previo al transporte de la información sobre la red, dicha información se fracciona en paquetes IP, proceso que se conoce como empaquetado. Los protocolos de encaminamiento se encargan de determinar el o los caminos que seguirían los paquetes en su destino hasta el receptor [29, 30].

En el receptor, los paquetes se ensamblan, descomprimen, decodifican y entregan al receptor en su forma original, dependiendo del terminal IP.

La codificación y compresión de la voz, así como los procesos inversos que se dan en el receptor, se hace a través de los denominados codecs. Dependiendo del cuál de ellos es el utilizado, se utilizaría mayor o menor ancho de banda para los procesos de codificación y compresión. Aquí, es oportuno resaltar que el tamaño del ancho de banda resultando incidiría directamente en la capacidad del sistema y en la calidad de los datos transmitidos.

Existen diversos tipos de codecs para voz [31, 32], tales como los de la familia definida por *la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunication Union)*, es decir, G.711, G.722, G.723, G.729, entre otros. Asimismo, se tienen los codecs de *Predicción Lineal Excitada por Códigos Algebraicos (ACELP, Algebraic Code Excited Linear Prediction)*, *Codificación Lineal Predictiva (LPC, Linear Predictive Coding)*. Los más comúnmente implementados son los de la ITU, de los cuales algunos se abordan a continuación.

a) Codec G.711

También conocido como *Modulación de Pulso Codificado (PCM, Pulse Code Modulation)*, codec G.711 es el estándar internacional de codificación de voz de la ITU para las redes telefónicas modernas debido a que codifica desde las señales analógicas, con el correspondiente proceso de digitalización de dichas señales. En consecuencia, la velocidad de comunicación a la salida del codificador es 64 Kbps, producto del muestreo a razón de 8.000 muestras por segundo, con 8 bits para cada muestra [31, 33].

El codec G.711 no realiza compresión en la codificación, razón por la cual es el estándar que ofrece mejor calidad de la voz, es decir, la misma se escucha igual a la emitida por un teléfono analógico, e incluso, una *Red Digital de Servicios Integrados (ISDN, Integrated Services Digital Network)*. No obstante, al no comprimir la voz, consume mayor ancho de banda para el procesamiento de la señal (87,2 Kbps en total), pero ello no representa problema alguno para el caso de la redes de comunicaciones de alta velocidad. El codec en cuestión es el más utilizado para el servicio VoIP, tanto a nivel de fabricantes de equipos como de parte de las operadoras [31].

Existen dos versiones del codec G.711. Una es la Ley-A (*A-Law*), utilizada en Europa y también en Latinoamérica. La otra es la Ley- μ (*μ -Law*) utilizada en Norteamérica y Japón. La diferencia entre ambas versiones es el método

mediante el cual se muestrea la señal analógica. Los valores típicos para μ y A en las ecuaciones de muestreo son 100 y 255 para μ y 87,6 para A [34].

b) Codec G.722

En este codec, el ancho de banda de la voz es subdividido en 2 sub-bandas, recurriendo para ello a *Filtros Espejos en Cuadratura (QMF, Quadrature Mirror Filters)* los cuales descomponen el referido ancho de banda en sub-banda de componentes bajas con frecuencias en el rango 0-4000 Hz y una sub-banda de componentes altas con frecuencias en el intervalo 4000-8000 Hz [35]. Cada sub-banda es codificada utilizando *Modulación de Pulsos Codificados Adaptativa Diferencial (ADPCM, Adaptive Differential Pulse Code Modulation)*, usando el mismo método para la decodificación.

El codec G.722 ofrece buena calidad de voz y audio, con baja complejidad en el hardware y bajo retardo en la comunicación, a velocidades de comunicación de 48 Kbps, 56 Kbps y 64 Kbps.

c) Codec G.723

Recurre a la codificación predictiva lineal de análisis por síntesis, para generar dos velocidades de comunicación. Para la más baja, es decir, 5,3 Kbps, se utiliza *ACELP*, mientras que la velocidad más alta, 6,3 Kbps, se emplea *Cuantificación Multi Impulso de Máxima Verosimilitud (MP-MLQ, Multipulse - Maximum Likelihood Quantization)* [36]. A pesar del retardo relativamente elevado (37,5 ms) y el bajo ancho de banda, el estándar ofrece buena calidad en de voz. Es posible conmutar de una velocidad a otra.

d) Codec G.729

Se trata de un estándar cuyo uso es licenciado, a pesar de que algunas de sus implementaciones están disponibles de forma gratuita siempre para fines académicos, investigación y otros que sean de carácter comercial. Existen dos versiones, G.729A y G.729B; en ambas, la velocidad de comunicación a la salida de codificador es 8 Kbps, con una razonable calidad de voz [33]. Sin embargo,

existen extensiones del mencionado codec que ofrecen velocidades de 6.4 Kbps y 11.8 Kbps, para una menor y mejor calidad de la voz, respectivamente [37].

G.729 emplea la *Estructura Conjugada de Predicción Lineal Excitada por Códigos Algebraicos (CS-ACELP, Conjugate Structure - Algebraic Code Excited Linear Prediction)*. A su vez, G.729A introduce variantes, especialmente basadas en la introducción de un *Procesador Digital de Señales (DSP, Digital Signal Processing)* que disminuye la complejidad del hardware en aproximadamente 50%, con un menor consumo de potencia en el procesador [38]. Por su parte, en G.729B se implementa supresión de silencio que habilita un módulo de *Detección de Actividad de Voz (VAD, Voice Activity Detection)*, para un mejor aprovechamiento del ancho de banda, aunque puede causar problemas de recortes en la continuidad de la voz [37].

Es importante resaltar que la calidad de la voz en los codec se mide mediante la *Puntuación Media de Opinión (MOS, Mean Opinion Score)*, que es una medida cualitativa de la calidad de la voz. En ese sentido, diversas pruebas experimentales demuestran que los codec con mayor MOS son G.711 y G.722 (versión 64 Kbps) [39].

En la Tabla 2 se muestra, a título de ejemplo, los resultados de una medición el MOS realizadas por los codecs aquí explicados [39].

Codec	MOS
G.711	4,1
G.722 (versión 64 Kbps)	4,13
G.723 (6,3 Kbps)	3,9
G.729 (8 Kbps)	3,92

Tabla 2. Ejemplo de MOS para los codecs ITU-T

3.2. Protocolos para manejo específico de VoIP

Además del *Protocolo de Control de Comunicación (TCP, Transmission Control Protocol)*, *Protocolo de Datagrama del Usuario (UDP, User Datagram Protocol)*, *Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP, Real-Time Transport Protocol)* y *Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real (RTCP, Real-Time Control Protocol)*, el servicio de VoIP requiere de otros protocolos para su consecución, tal es el caso de los protocolos de señalización, los cuales se encargan, por ejemplo, de establecer, mantener y finalizar las llamadas. Asimismo, los protocolos de señalización tienen como función la negociación de los parámetros de sesiones RTP tales como codecs, tonos, capacidades de ancho de banda, entre otros. En el caso concreto de VoIP los protocolos de señalización utilizados son *Protocolos Inicial de Señalización (SIP, Session Initiation Protocol)* y H.323.

En la Figura 3.1 se muestran la estructura de los protocolos utilizados en VoIP. En esta figura también se incluyen los codecs de audio y video [31].

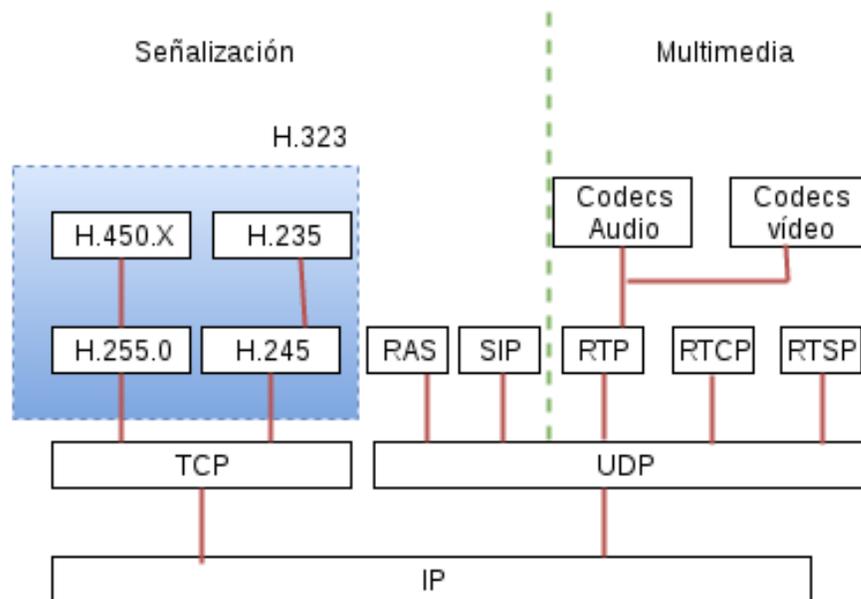


Figura 3.1. Estructura de protocolos de VoIP

3.2.1. Protocolo H.323

Es el estándar de la ITU del protocolo de control de sesión para el servicio de VoIP. Fue originalmente desarrollado para el servicio multimedia sobre una LAN, pero después su uso fue extendido para VoIP. El estándar engloba tanto las comunicaciones punto a punto, como las comunicaciones punto a multipunto y define cuatro componentes lógicos: terminales, *gateways*, *gatekeepers* y las *Unidades de Control Multipunto (MCU, Multipoint Control Units)*, tal como ilustra la Figura 3.2 [40].

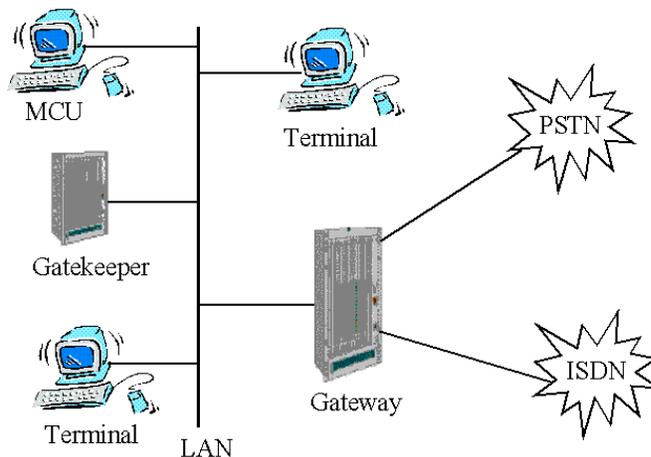


Figura 3.2. Interacción entre los componentes de H.323

Los terminales son las unidades de usuario, provistas de comunicación bidireccional en tiempo real. Deben tener soporte para H.245, Q.931, *Registro, Admisión y Estatus (RAS, Registration, Admission and Status)* y RTP. H.245 tiene como función permitir el uso de los canales, Q.931 es usado para la señalización y establecimiento de las llamadas y RAS hace posible la interacción con el *gatekeeper*. Un terminal H.323 se puede comunicar con otro terminal H.323, un *gateway* H.323 o una MCU.

Es importante señalar que el estándar H.245 sirve al estándar H.235, el cual define seguridad en H.323.

Los *gateways* se encargan de proveer comunicaciones bidireccionales en tiempo real entre los terminales H.323 de la red IP y otras unidades de usuario correspondientes a otras redes, tales como la *Red Pública de Telefonía Conmutada (PSTN, Public Switched Telephone Network)*, ISDN, entre otras. Asimismo, provee comunicación entre los terminales H.323. Los *gateways* hacen posible la comunicación entre formatos de comunicación diferentes, es decir, desde H.225 a H.221, así como también la comunicación entre los codecs de audio y video.

Es oportuno resaltar que, el estándar H.225.0 describe el uso de tres protocolos internos de señalización de H.323, concretamente, Q.931, RAS y un protocolo conocido como Anexo G/H.225.0) [41]. El estándar H.225.0 entrega los insumos al protocolo H.450, el cual describe servicios suplementarios.

Por su parte, los *gatekeeper* son una especie de central de la red de VoIP de todas las llamadas dentro de su zona, es decir, el conjunto conformado por el *gatekeeper* y los equipos de la red registrados en él registrados. Algunas de las funciones de un *gatekeeper* son [40]:

- Control de admisión a la red.
- Traslación de direcciones.
- Señalización y autorización de llamada.
- Gerenciamiento del ancho de banda.

La MCU suministra la capacidad a tres o más terminales y *gateways* para participar en conferencia multipunto. La MCU está conformada por el *Controlador Multipunto (MC, Multipoint Controller)* obligatorio y *Procesadores Multipunto (MP, Multipoint Processors)* opcionales. EL MC determina las capacidades comunes de los terminales mediante el estándar H.245, mientras que la función de multiplexación del audio, video y datos la ejecuta el MP, bajo el control del MC.

3.2.2. SIP

Es el estándar del IETF para el servicio de VoIP. Es un protocolo de control, uso libre, que permite crear, modificar y terminar sesiones multimedia conformadas por uno o más participantes. SIP usa una sintaxis similar a la del *Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP, HyperText Transfer Protocol)*, y conjuga aspectos del *Protocolo Simple de Transferencia de Correo (SMTP, Simple Mail Transfer Protocol)* utilizado para el intercambio de correo electrónico entre servidores, computadoras, teléfonos, etc. [29, 31, 40].

SIP provee confiabilidad a la red y no depende de TCP para ello. Para transportar los parámetros necesarios para la negociación de la identificación del codec, puertos IP usados, entre otros, SIP utiliza el *Protocolo de Descripción de Sesión (SDP, Session Description Protocol)*. Además, SIP da soporte a descripciones de las sesiones que hacen posible que los participantes se pongan de acuerdo sobre un conjunto de tipos de medios compatibles. También, brinda soporte movilidad de los usuarios por proxy y redirecciona los requerimientos de los usuarios a la nueva localidad. Para el transporte del servicio multimedia, SIP recurre a RTP [29, 40].

SIP está conformado por las siguientes cinco entidades lógicas [29, 40, 42]:

- *Agente de Usuario (UA, User Agent)*: se encarga de iniciar y finalizar sesiones mediante un proceso de solicitudes y respuestas. Están conformados por el *Cliente de Agente de Usuario (UAC, User Agent Client)* y el *Servidor de Agente de Usuario (UAS, User Agent Server)*. El UAC es usado para iniciar peticiones SIP y recibir las correspondientes respuestas de parte del UAS, relacionadas con el comportamiento del usuario. Un UA puede ser un teléfono IP, un *Adaptador para Teléfono Analógico (ATA, Analog Telephone Adapter)*, un *gateway*, entre otros.

- *Servidor proxy*: es una entidad intermediaria en la red SIP que retransmite solicitudes y determina a qué otro servidor debe remitirlas y, en caso de ser necesario, reescribe un mensaje de solicitud antes de dicha retransmite. Dado que también puede actuar como cliente, también tiene la facultad de servir directamente la solicitud que recibe sin retransmitirla.
- *Servidor de registro*: recibe actualizaciones concernientes a las localidades actuales de los usuarios.
- *Servidor de redirección*: recibe una solicitud y genera una respuesta de direccionamiento, relacionada con el servidor al cual se debe reenviar la solicitud y envía dicha información al cliente que hizo la solicitud.
- *Agente de Usuario Inverso (B2BUA)*: al igual que un servidor proxy, se trata de un componente destinado al control de llamadas, pero a diferencia del servidor, que no puede desconectar una llamada, el B2BUA es capaz de mantener el estado completo de una llamada, así como también participar en todas las solicitudes de llamada. De esa manera, el B2BUA puede implementar funciones tales como registrar la duración de la llamada, facturación, entre otras.

3.3. Protocolo de Reserva de Recursos

El *Protocolo de Reserva de Recursos (RSVP, Resource Reservation Protocol)* definido en el RFC 2205 [43], es un protocolo de señalización, bajo la filosofía de servicios integrados, para comunicaciones punto a punto y punto a multipunto, diseñado para instalar y mantener información acerca de reservaciones de recursos (buffer, ancho de banda...) en Internet, en cada *encaminador (router)* a lo largo del recorrido del flujo de datos, con el fin de garantizar QoS requerido para servicio multimedia y aplicaciones en tiempo real [44].

Para garantizar la reserva de recursos, cada receptor de la red envía un mensaje particular a los restantes nodos, por ejemplo, routers, que existen en el camino seguido por el flujo de datos, con el fin de reservar los recursos necesarios durante la comunicación.

Una Red de Paquetes de Servicios Integrados (ISPN, *Integrated Services Packet Network*) puede solicitar un QoS particular, como por ejemplo, un tiempo de cola entre los extremos inicial y final de la comunicación, para un determinado flujo de datos. Para proveer dicho QoS, los nodos de la ISPN deben ejecutar las siguientes funciones: reserva de configuración, control de admisión, control de políticas, programación de paquetes y clasificación de paquetes, las cuales son ampliamente explicadas en [45].

En la Figura 3.3 se muestra los componentes de servicios integrados de un router ISPN, en la cual se puede observar el rol principal que juega RSVP en dicha arquitectura [45].

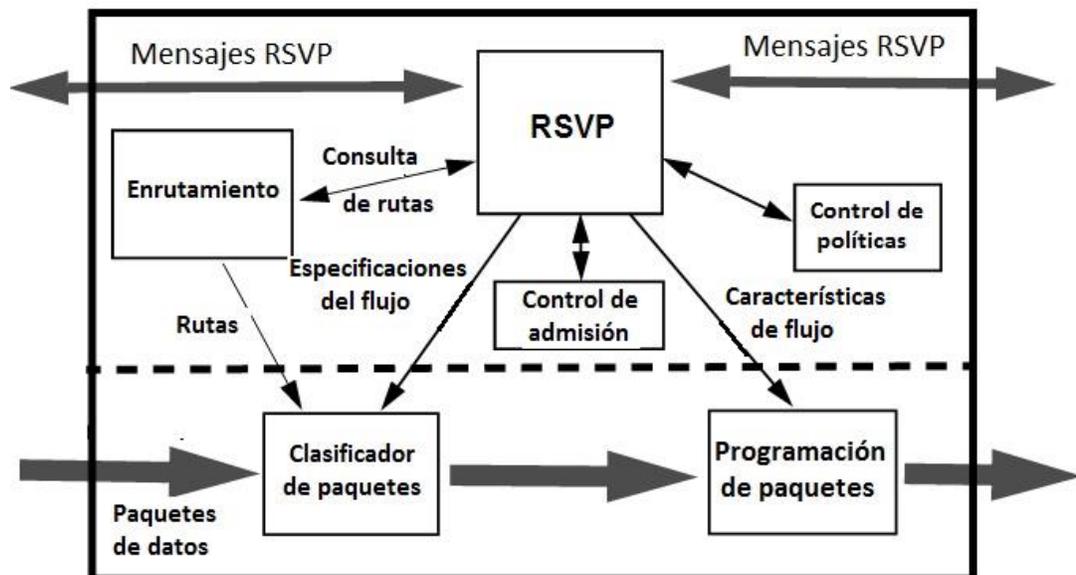


Figura 3.3. Componentes de servicios integrados en un router ISPN

Es importante aclarar que, RSVP no es un protocolo de encaminamiento, sino que requiere de los servicios del protocolo IP (IPv4 e IPv6) para el transporte de los mensajes de reserva a través de la ruta seguida por el flujo de datos.

3.4. Protocolo de Internet Móvil

El *IP para móviles (IP mobile)* está definido por la IETF tanto para IPv4, como para IPv6, en la RFC 3220 [46] y RFC 6275 [47], respectivamente, y tiene como objeto describir las recomendaciones y especificaciones necesarias para que los equipos móviles puedan conectarse a Internet incluso estando los usuarios en movimiento.

Cuando un usuario móvil se traslada a otra red, es necesario que su IP cambie para la dirección asociada al nuevo del punto de conexión, con el fin de que el móvil pueda mantener la conexión. En IP tradicional, que fue diseñado para conexiones a Internet en el que el punto al cual un equipo se conecta a Internet o a una red, es fijo, esa tarea de cambio de dirección IP no es automática. De hecho, la misma es muy difícil de llevar a cabo. Debido a ello, los tradicionales protocolos de encaminamiento no son capaces de encaminar de manera correcta los datagramas hacia el equipo móvil.

Es allí donde surge IP para móviles, con un protocolo que permite que el móvil utilice dos direcciones IP. Una de las direcciones es permanentemente fija, mientras que la otra se actualiza según cada nuevo punto de conexión del móvil a Internet o la red.

Las entidades lógicas funcionales que conforman la IP para móviles están [48]:

- *Nodo Móvil (MN, Mobile Node)*: se trata de host o encaminador que puede cambiar su punto de conexión de una red o subred, a otra, a través de Internet. El MN tiene asignada la IP fija, la cual será usada por los otros hosts de la red para sus paquetes al MN independientemente de su ubicación actual.
- *Agente Local (HA, Home Agent)*: encaminador que mantiene una lista de nodos móviles registrados en una lista de visitantes. Esa información se utiliza para enviar, a través de la dirección IP no fija, datagramas con paquetes de direcciones de nodos móviles a la red local apropiada, cuando los nodos móviles no están en su área local de servicio. En nuevo encabezado IP que encapsula al datagrama original IP también contiene la IP fija del móvil.
- *Agente Foráneo (HF, Foreign Agent)*: encaminador que proporciona encaminamiento de host al nodo móvil que no está en su área local de servicio.

Proporciona información entre el nodo móvil y el agente local.

- *Asistente de Dirección (COA, Care-of-address)*: dirección que identifica el punto de conexión actual del móvil nodo. Es considerada la entidad de IP móvil ubicada al final del túnel en dirección hacia el nodo móvil. COA puede ser asignada de manera dinámica o puede asociarse con un agente foráneo.
- *Nodo Correspondiente (CN, Correspondent Node)*: encargado de enviar los paquetes que han sido direccionados hacia el nodo móvil.
- *Dirección Local (HA, Home Address)*: dirección IP permanente que es asignada al nodo móvil. Se mantiene sin cambios, independientemente de dónde el nodo móvil está conectado a Internet.
- *Agente de Movilidad (MA, Mobility Agent)*: agente que soporta movilidad. Puede tratarse de un agente local o un agente foráneo.
- *Túnel*: ruta seleccionada para el envío de los paquetes encapsulados. Se trata de la ruta en la cual los paquetes viajan desde el agente local hasta el agente foráneo.

3.5. Mobile IPv6 Jerárquicos

Mobile Ipv6 Jerárquico (HMIPv6, Hierarchical Mobile IPv6) es una gestión localizada de movilidad cuyo objetivo es reducir la carga de señalización fuera de un dominio predefinido. IPv6 móvil fue desarrollado con la finalidad de abastecer el continuo crecimiento de las redes móviles, la gestión de movilidad dentro del dominio es manejada por un *Punto de Anclaje de Movilidad (MAP, Mobility Anchor Point)*, mientras que la movilidad entre dominios MAP separados es manejada por el protocolo *MIPv6 (Mobile IPv6)* [49].

Básicamente, el MAP actúa como un HA, de manera que cuando un nodo móvil ingresa a un nuevo dominio MAP, este registra a dicho nodo con su *RCoA (Regional Care-of-Address)*, la cual a su vez es la dirección que el móvil utiliza para informar a su HA y a los correspondientes nodos acerca de su localización actual. Seguidamente, los paquetes son enviados e interceptados por el MAP, el cual actúa

como un proxy enrutando los paquetes que están dentro del dominio hacia el *LCoA* (*Link Care-of-Address*). Cuando el nodo móvil ejecuta un handoff entre 2 AP dentro del mismo dominio MAP, sólo dicho MAP ha sido informado. Sin embargo, ello no implica cualquier cambio en las *Actualizaciones Vinculantes* (*BU, Binding Update*) periódicas que un móvil haya enviado al HA, nodos correspondientes y adicionalmente al MAP.

Mobile IPv6 Jerárquico tiene como ventaja el hecho de reducir la carga fuera del dominio MAP en caso de handoff dentro del mismo dominio y puede mejorar el desempeño del handoff reduciendo la latencia y, en consecuencia, también las pérdidas de paquetes, debido a que los *handoff* intra-dominio se ejecutan localmente. No obstante, ya que las BU periódicas no son reducidas, pero si las debidas a los *handoff*, entonces la importancia de la mejora depende de la movilidad del nodo.

CAPÍTULO 4

4. QoS EN REDES TODO-IP Y ASPECTOS LEGALES

Este capítulo aborda lo concerniente a la QoS en las redes Todo-IP, las implicaciones que tienen las transmisiones de VoIP sobre sistemas inalámbricos cuando no se configura calidad de servicio, así como los aspectos importantes a tener en cuenta en su configuración. También se incluye el marco legal dentro del Ecuador para las aplicaciones de VoIP sobre redes inalámbricas.

4.1. Aspectos de QoS

La implantación de QoS es esencial para el éxito de aplicaciones avanzadas, como videoconferencia y VoIP especialmente en una red con capacidad limitada o con un gran número de usuarios, debido a que este tipo de aplicaciones demanda la comunicación de los datos sin interrupción o pérdida de paquetes, para lo cual la calidad de servicio juega un papel muy importante.

La QoS [50] se puede definir como la capacidad de una red de ofrecer a determinados servicios ciertas prioridades que les brinde calidad y los hagan viables, o dicho de otra manera la capacidad de un elemento de red (bien una aplicación, un servidor, un encaminador, un conmutador, entre otros) de garantizar que su tráfico y los requisitos del servicio previamente establecidos puedan ser satisfechos.

Se debe tener en cuenta, que para que en una red pueda ofrecer el manejo de QoS extremo a extremo, es necesario que todas las capas y elementos presentes en la red posean mecanismos de QoS que ofrezcan un desempeño adecuado a la aplicación en cuestión. Desde este punto de vista, la QoS también se puede definir como el conjunto de protocolos y tecnologías que garantizan la entrega de datos a través de una red en un momento dado, lo cual permite a los administradores de red manejar los efectos de la congestión del tráfico usando óptimamente los diferentes

recursos de la red.

4.1.1. Problemas que afectan a la QoS de la VoIP en LAN inalámbricas

Entre los parámetros que se ven mayormente afectados en servicios como la VoIP en redes inalámbricas que no cuentan con implementaciones de QoS se encuentran [51]:

a) *Limitación de ancho de banda*: en relación a VoIP y en función del codec empleado, existen requerimientos mínimos a garantizar para la comunicación de la señal de voz con altos niveles de calidad.

El ancho de banda disponible en la red se reparte entre las aplicaciones que hay sobre ésta. Debido a ello y con objeto de arbitrar este reparto, han surgido algunos mecanismos de QoS. La técnica empleada para la gestión del ancho de banda en la redes determinante en el retardo que sufrirán los paquetes, y en consecuencia, en la calidad de la voz.

b) *Retardo o latencia*: uno de los diferenciadores claves de calidad en un servicio percibidos por un usuario es el retardo de punto a punto.

El retardo se puede ver afectado por:

- *Retardo de la trama*: es la cantidad de tiempo representado en el paquete de voz.
- *Retardo del codec*: los codificadores de voz tienen cierto retardo inherente.
- *Retardo de empaquetamiento*: un terminal o Gateway tendría retardo pasando los paquetes de voz a través de su apuntador IP e inyectándolo a la red IP.
- *Retardo del tránsito*: los paquetes de voz transportados a través de la red IP experimentarían un retardo al tiempo de comunicación de paquete a través de cada enlace y también retardos procedentes de los routers dentro de la red.

El retardo causa dos problemas fundamentales como son:

- *Eco*: causado por las reflexiones de las señales de la voz del emisor desde el equipo de teléfono del extremo lejano (receptor) retornando al oído del emisor. El eco se vuelve un problema significativo cuando el retardo es mayor que 50 ms. por lo que se deben usar técnicas de cancelación de eco. Los estándares ITU-T G.165 [52] y G.168 [53] definen los requisitos de funcionamiento de los canceladores de eco. El eco desde la red de teléfonos es eliminado por un filtro digital en el camino de comunicación en la red IP.
- *Superposición de la Conversación (Talker Overlap)*: este problema se vuelve significativo si el retardo unidireccional es mayor a 250 ms. El retardo de extremo a extremo es, por consiguiente, la mayor restricción y requisito de manejo para incrementar la QoS.

Las fuentes de retardo de extremo a extremo en una aplicación de VoIP incluyen:

- *Acumulación de retardo*: causado por la necesidad de coleccionar una trama de muestras de voz para ser procesadas por el codificador de voz. En la Tabla 3, se presenta algunos codec de mayor uso y sus tiempos de trama asociados.

Codec	Tiempo (ms)
G.711	125
G.723	30
G.729	10

Tabla 3: Codificador y tiempo de la trama

- *Retardo del procesamiento*: causado por el proceso real de codificación y acumulación de las muestras codificadas en un paquete para la

comunicación. El retardo de la codificación es una función del tiempo de ejecución de procesador y del tipo de algoritmo usado. A menudo, múltiples tramas del codificador de voz se acumulan en un solo paquete para reducir la sobrecarga. Por ejemplo, tres tramas de G.729 equivalen a 30 ms de diálogo y pueden acumularse y empaquetarse en un solo paquete.

- *Retardo de la red:* causado por el medio físico y los protocolos usados para comunicar los datos de voz y por los buffers usados para eliminar la *variación del retardo en la comunicación (jitter)* del paquete en el lado del receptor. La red de retardo es una función de la capacidad de los enlaces y el proceso que ocurren como el tránsito de los paquetes. Los buffers de jitter agregan retardo, el cual puede ser una parte significativa del retardo global, cuando las variaciones de retardo del paquete son tan altas como 70 ms a 100 ms.
- c) *Jitter:* causado por retardos variables de paquetes que se envían consecutivamente. Eliminar el jitter requiere acumular paquetes y mantenerlos el tiempo suficiente para permitir a los paquetes más lentos llegar al mismo tiempo para ser ejecutados en la sucesión correcta, pero esto causa un retardo adicional.

Las dos metas contradictorias de minimización del retardo y eliminación del jitter han engendrado varios esquemas para adaptar el tamaño de buffer de jitter para emparejar los requisitos de variación de tiempo de eliminación del jitter de red. Esta adaptación tiene la meta explícita de minimizar el tamaño y retardo del buffer de jitter, mientras al mismo tiempo impide un *mínimo de flujo (underflow)* del buffer causado por el jitter.

A continuación, se detallan dos mecanismos para adaptar el tamaño de buffer de jitter se detallan, cuya selección dependerá del tipo de red en que los paquetes de están cruzando. El primer mecanismo es medir la

variación del nivel del paquete en el buffer de jitter sobre un período de tiempo e incrementalmente adaptar del tamaño del buffer para emparejar el jitter calculado. El segundo mecanismo es contar el número de paquetes que llegan retrasados y crean una proporción de estos paquetes al número de paquetes que se procesan con éxito. Esta proporción es luego usada para ajustar el buffer de jitter para establecer la proporción del paquete tardío aceptable. Este mecanismo trabaja mejor con las redes con muy inconstante de intervalos de llegada de paquetes.

Además de las técnicas descritas, la red debe configurarse y debe manejarse para proporcionar retardo mínimo y jitter mínimo y debe habilitarse una QoS consistente.

- d) *Pérdida de paquetes*: pueden ser un problema muy severo, dependiendo del tipo de red de paquetes. Debido a que las redes IP no garantizan la calidad de servicio normalmente en redes de acceso se presentara una incidencia mayor de paquetes de voz perdidos que las redes cableadas.

En Internet todas las tramas de voz se tratan como las tramas de datos. Bajo las cargas pico y congestión, las tramas de voz serían desechadas de igual forma que las de datos. Sin embargo, las tramas de datos no son sensibles al tiempo y se desechan paquetes que pueden ser apropiadamente corregidos a través del proceso de retransmisión. Los paquetes de voz perdidos, sin embargo, no pueden ser reparados de esta manera.

Algunos esquemas usados por software de paquetes de voz para direccionar el problema de tramas pérdidas son:

- *Interpolación*: los paquetes del diálogo perdidos por re-ejecución del último paquete recibido durante el intervalo cuando se suponía que el paquete perdido estaba agotado, es un método simple que llena el tiempo entre las tramas del diálogo no continuo. Esta técnica funciona

bien cuando la incidencia de tramas perdidas es poco frecuente, no funciona bien si hay varios paquetes perdidos seguidos o un estallido de paquetes perdidos.

- *Redundancia*: envío de información redundante de acuerdo a la utilización del ancho de banda. Este método de copias básicas y envío de n paquetes de información de voz junto con el paquete $(n+1)$, tiene la ventaja de ser capaz de corregir exactamente el paquete perdido, sin embargo, esta aproximación usa más ancho de banda y también crea un retardo mayor.
- *Codificador de Voz*: generalmente se usa un método híbrido con un codificador de voz de ancho de banda mucho más bajo para proporcionar información redundante llevada a lo largo de $(n+1)$ paquetes. Esto reduce el problema del ancho de banda extra requerido pero no resuelve el problema de retardo.

4.1.2. Parámetros típicos de QoS en LAN inalámbricas

Como se revisó anteriormente, el servicio de VoIP implica que la información de voz es fragmentada creando un flujo de paquetes independientes que viajan por diferentes caminos de la red, llegando al destino de forma desordenada y con diferentes retardos acumulados. Debido a esto, en la integración de la voz, otros servicios en tiempo real y los datos sobre una infraestructura única de conmutación de paquetes, existen las limitaciones explicadas en la sección 4.1.1, que deben ser consideradas en el diseño e implantación de una solución de este tipo.

Con el objetivo de paliar los problemas que generan estas limitaciones sobre las redes inalámbricas la arquitectura básica de QoS introduce tres partes fundamentales para la implementación de QoS:

- Identificación de QoS y técnicas de marcado para la coordinación de QoS de extremo a extremo entre los elementos de la red.

- QoS es un solo elemento de red por ejemplo, formación de una cola de espera (*queuing*), *planificación* (*scheduling*), y herramientas de conformación de tráfico.
- Funciones de contabilidad, gestión y política de QoS para controlar y administrar el tráfico de extremo a extremo a través de la red.

Para que VoIP sea un replazo realista de la red de telefonía PSTN los clientes necesitan recibir la misma calidad de comunicación de voz que reciben con los servicios de teléfono tradicional. Es decir, las transmisiones de VoIP deben ser inteligibles al receptor, no deben perderse paquetes de voz o estar excesivamente retardos o sufrir una variación de retardo alta. Con el fin de poder alcanzar estos objetivos, se deben cumplir los siguientes requisitos (claves para hacer pruebas de VoIP) de:

- *Latencia*: el exceso del retardo hace la conversación inconveniente y no natural. Cada componente en el camino de la comunicación (emisor, red y receptor) aumenta el retardo en la misma. La Recomendación ITU-T G.114 [54] recomienda 150 ms, como máximo deseado de latencia unidireccional para conseguir voz de alta calidad de extremo a extremo. Mientras que para las llamadas internacionales, es aceptable un retardo de 300 ms, sobre todo para la comunicación de satélite.

Ahora bien, como se sabe, el codificador/decodificador (codec) por defecto recomendado por la ITU es G.711, cuyo retardo normal es de 125 ms, a lo cual se debe adicionar el retardo variable que dependerá del enlace y de la carga de la red como se observa en la Figura 4.1.

- *Jitter*: cuantifica los efectos de los retardos de los paquetes en la red que llegan al receptor. Los paquetes transmitidos en intervalos iguales desde la gateway del emisor hasta la llegada en la gateway del receptor en intervalos irregulares. La variabilidad o Jitter excesivo hace la conversación cortada y dificultosa de entender. El Jitter es calculado

basado en el tiempo de llegada promedio de los paquetes.

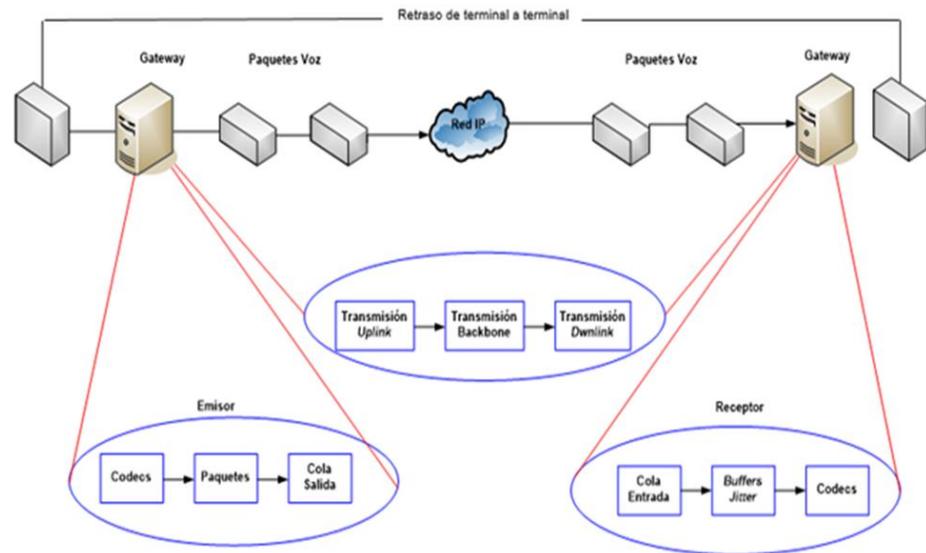


Figura 4.1. Retardo de Terminal a Terminal

Para una alta calidad de la voz, el promedio de llegada al receptor debería ser aproximadamente igual al intervalo de los paquetes en el receptor como se ilustra en la Figura 4.2, y la desviación estándar debería ser baja. Con el fin de mejorar esta característica de calidad de servicio QoS se utilizan los buffers de Jitter para contrarrestar los efectos de las fluctuaciones de la red y crear un flujo normal de los paquetes en el terminal receptor, el cual es eficaz en variaciones de retardo menor a 100 ms.

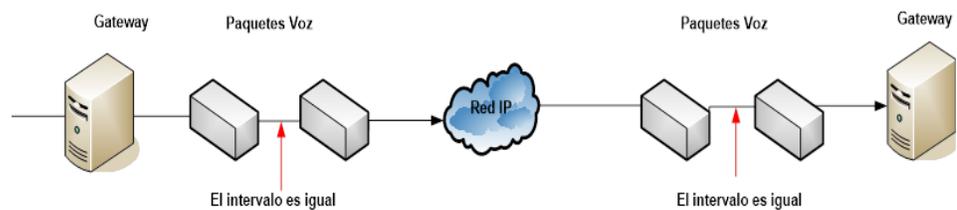


Figura 4.2. Variabilidad del retardo

- *La pérdida de paquetes:* generalmente ocurre tanto en forma abrupta o en

forma periódica debido a la congestión de la red como muestra la Figura 4.3. La pérdida periódica no puede estar por encima del 5% al 10% de todos los paquetes de voz transmitidos, ya que se degradaría la calidad de voz significativamente. La pérdida abrupta de paquetes puede también hacer dificultosa la conversación, aunque no es muy frecuente que suceda.

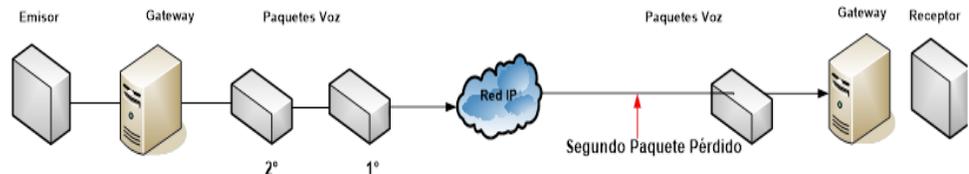


Figura 4.3. Pérdida de paquetes

En general, se puede decir que la VoIP sólo puede garantizar la comunicación de voz de alta calidad solo si los paquetes de voz, para la señalización y los canales de audio, tienen prioridad sobre otro tipo de tráfico, además, debe garantizarse cierto ancho de banda y requerimientos de retardo o latencia y jitter.

- *Eco y otros*: es aceptable cuando el retardo es menor a 50 ms y el eco es enmascarado por el tono lateral normal que cada teléfono genera. El eco realmente se vuelve un problema en VoIP porque el retardo casi siempre es mayor que 50 ms. así que, se debe usar técnicas de cancelación de eco [52, 53].

La ITU, en su Recomendación Y.1540 [55] define los parámetros que pueden ser usados para evaluar la calidad de funcionamiento en cuanto a velocidad, precisión, fiabilidad y disponibilidad en la transferencia de paquetes por medio del protocolo de Internet IP. A continuación se mencionan los 4 principales parámetros:

- *Retardo de Transferencia de Paquetes IP (IPTD, IP Packet Transfer Delay)*: es el tiempo que hay entre la ocurrencia de los eventos o entre

la llegada de dos paquetes IP a su destino, es decir, que es el tiempo que tarde el paquete en recorrer todos los componentes de la red [55].

- *La Tasa de Pérdida de Paquetes IP (IPLR, IP Packet Loss Ratio)*: es la relación entre el total de paquetes IP perdidos y total de paquetes que fueron transmitidos [55].
- *La Variación del Retardo del Paquete IP (IPDV, IP Packet Delay Variation)*: es la diferencia de retardo en un camino seleccionado entre dos paquetes, solo los paquetes que llegan se utilizan en el cálculo del IPDV, es decir, que hace referencia a la variación en el tiempo de llegada de los paquetes [55].
- *La Tasa de Errores de los Paquetes IP (IPER, IP Packet Error Ratio)*: es la tasa de paquetes con errores, que resulta de los paquetes que llegaron con éxito y el número de paquetes que llegaron con errores en una población de interés [55]

4.2. Aspectos Legales

Teniendo en consideración los grandes cambios de tecnológicos que existen en lapsos de tan corto tiempo con lo que respecta a las telecomunicaciones, se hace necesario que exista en la legislación Ecuatoriana en lo que respecta a las telecomunicaciones sobre VoIP una regulación que permita establecer normas para la concesión y uso de la misma.

4.2.1. Bases legales del uso de VoIP en redes inalámbricas en el Ecuador

Antes de comenzar a citar las leyes y reglamentos, hay que mencionar que actualmente el Arcotel es el ente encargado de las regularizaciones de las Telecomunicaciones en el Ecuador.

En la actualidad se están realizando cambios en las leyes de Telecomunicaciones los mismos que no han sido anexados en el presente trabajo.

En el caso particular de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, aprobado en el año 2015, destacan los siguientes artículos [56].

Artículo 5. Define por telecomunicaciones a toda comunicación, emisión, recepción de signos, señales, textos, videos, imágenes, sonidos o información de cualquier tipo, por sistemas ópticos, alámbricos, inalámbricos, inventados o por inventarse.

Artículo 9. Se entiende por redes de telecomunicaciones a los sistemas y demás recursos que permiten la comunicación, emisión y recepción de voz, vídeo, datos o cualquier tipo de señales, mediante medios físicos o inalámbricos, con independencia del contenido o información cursada.

Artículo 11. Para la explotación y uso de las redes públicas de telecomunicaciones, se requiere obtener un título habilitante que lo otorga la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

Artículo 22. Tienen derecho clientes y usuarios de los servicios de telecomunicaciones:

1. A recibir los servicios contratados de manera continua, y con calidad.
2. A escoger libremente al prestador y sus planes servicio.
3. Al secreto de sus comunicaciones.
4. A la portabilidad del número telefónico.

Por su parte, la Resolución 491-21-2006, consideró los siguientes ítems [56]:

- a) El avance tecnológico ha impulsado la introducción de programas y aplicaciones sobre la red de internet, que facilitan la comunicación recepción de voz video y datos.
- b) Que la denominada Voz sobre IP, identificada por las siglas VoIP, es un término genérico que incluye varias modalidades de uso que requieren ser

diferenciadas para determinar la aplicación de normas de control y regulación vigente dentro del territorio del Ecuador.

- c) Que el denominado protocolo de internet, identificado por las siglas IP, es un lenguaje de comunicación de información caracterizado por el envío de datos en formato de paquetes.

En base a lo anterior descrito se resolvió lo siguiente:

Artículo 1. La voz sobre internet cruzada a través de la red internet, permite a los usuarios entre sí o entre un usuario conectado a la red internet con usuario conectado a la red pública de telecomunicaciones. La voz sobre el internet es reconocida como una aplicación tecnológica disponible en internet.

Artículo 2. Cuando un operador de telecomunicaciones preste el servicio de telefonía aplicando el protocolo IP, el operador está sujeto al marco legal, las normas de regulación y control aplicables.

Artículo 3. Los proveedores de servicio de valor agregado de Internet no restringirán a sus usuario el acceso a las aplicaciones detallada en el Artículo 1.

Artículo 4. Cualquier persona natural o jurídica incluyendo a los proveedores de servicio de valor agregado de internet, podrán comercializar dispositivos y planes para el uso de las aplicaciones detalladas en el artículo 1.

Artículo 5. Ninguna persona natural o jurídica incluyendo a los proveedores de servicio de valor agregado de internet ,podrán usar dentro del territorio nacional, dispositivo de conmutación, tales como interfaces o compuertas (gateways) o similares que permitan conectar la comunicaciones de voz sobre internet o las llamadas sobre Internet, a las redes públicas de telecomunicaciones del Ecuador.

Se exceptúan de esta limitación a los operadores de telecomunicaciones debidamente autorizados.

Artículo 6. No se concederá el recurso de numeración telefónica de conformidad al plan técnico de numeración, para las aplicaciones detalladas en el artículo 1.

4.2.2. Propuestas de uso legal y análisis del mercado potencial

En la actualidad, según la Resolución TEL-069-04-CONATEL-2013 del Consejo Nacional de Telecomunicaciones, se tiene un plan de restructuración de los sistemas de telecomunicaciones, el cual tiene por nombre *Plan Técnico Fundamental de Señalización (PTFS)*, aprobado en 2007 en Ecuador.

Según dicho plan, las operadoras del *Servicio Móvil Avanzado (SMA)* y del *Servicio de Telefonía Fija (STF)* deberán paulatinamente realizar la migración de las redes TDM (*Time Division Multiplexing*) a redes RCP (Red con Conmutación de Paquetes), específicamente, redes IP y NGN (*Next Generation Network*) y en el mediano plazo debería ser remplazado por SIP y H.323 tanto a nivel interno del operador como en el de interconexión.

Esos protocolos de conmutación deberán coexistir hasta que la conmutación de circuitos sea remplazada completamente por la conmutación de paquetes.

Para poder realizar la explotación de este servicio el Estado debería regular su uso, en el cual deberá poner los reglamentos claros para su concesión, así como también los parámetros mínimos que deben cumplir los operadores que van a ofrecer este servicio. Además, el Estado debe promover políticas en las cuales se establezcan incentivos para la modernización de la infraestructura de los sistemas de telecomunicaciones.

Para la instalación y explotación de las telecomunicaciones IP se debería requerir de la obtención del correspondiente título habilitante, posterior a la concesión de los servicios de telecomunicaciones.

Para los usuarios de ese servicio se debería habilitar la asignación de la numeración telefónica correspondiente, debido a que el recurso numérico de

señalizaciones es limitado. Dicho recuerdo seguiría siendo administrado por el estado.

Asimismo, el servicio debería ser compatible, de manera de permitir la interconexión con la red de telefonía pública fija y móvil, para que de esa manera los usuarios puedan conectarse con las demás operadoras, dentro y fuera del país.

Se debe garantizar la QoS y la seguridad de la conexión de punto a punto. Además, los precios referenciales deberán ser muy inferiores a los actuales, y que vaya en beneficio directo del usuario final.

Ahora bien, el mercado ecuatoriano tiene un alto índice de consumo en lo referente al uso de las tecnologías de las telecomunicaciones. Esta información fue obtenida del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) del Ecuador realizado en año 2016 y cuyas estadísticas y sus estudios realizados se encuentran publicados en la Web oficial de dicho Instituto [57].

Por ejemplo, en la Figura 4.4, se observa que para el año 2016, el 90,1 % de los hogares ecuatorianos contaban con al menos un teléfono celular [57].

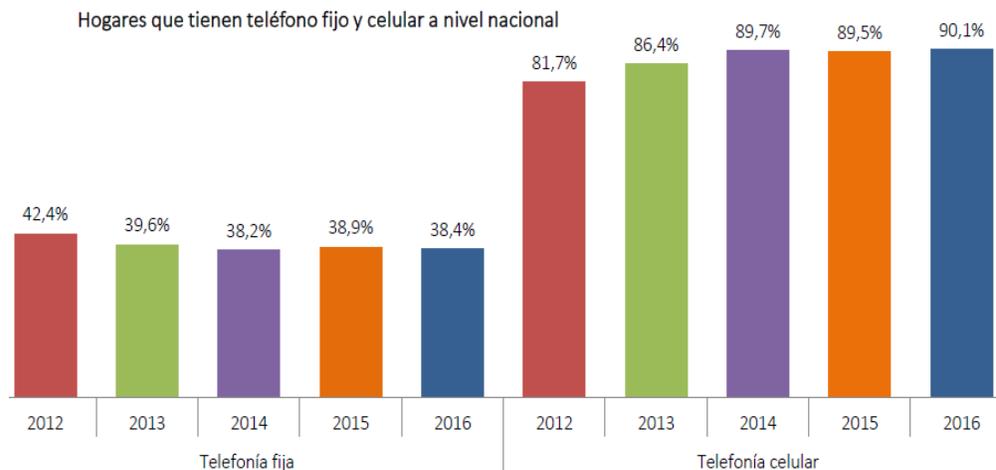


Figura 4.4. Porcentaje de uso de telefonía en el hogar

Por otra parte, el 36 % de los hogares Ecuatorianos, a nivel nacional, en 2016 tenían acceso a Internet, siendo la penetración para áreas urbanas del 44,6 %, tal como muestra la Figura 4.5.

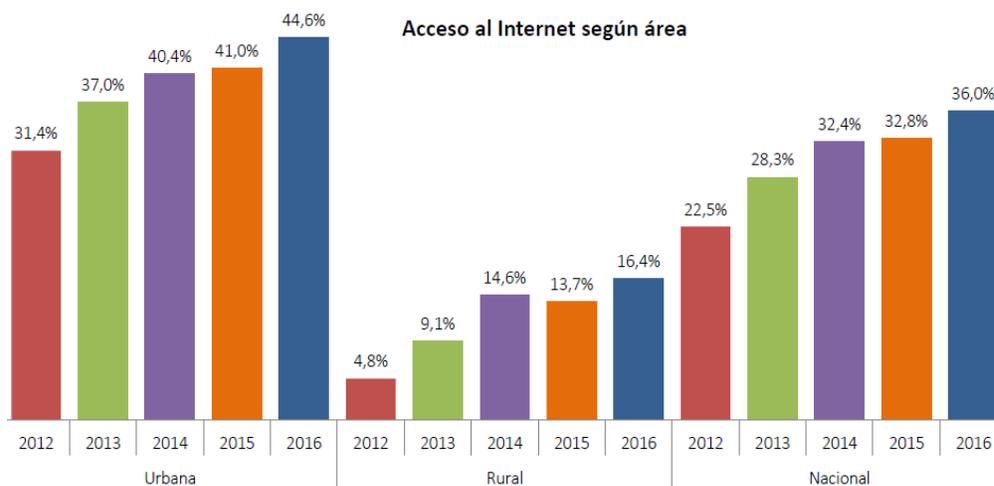


Figura 4.5. Porcentaje de acceso a Internet por área

A su vez, de los hogares que tenían acceso a Internet en el 2016, el 24,5 % accedían al servicio mediante algún sistema inalámbrico.

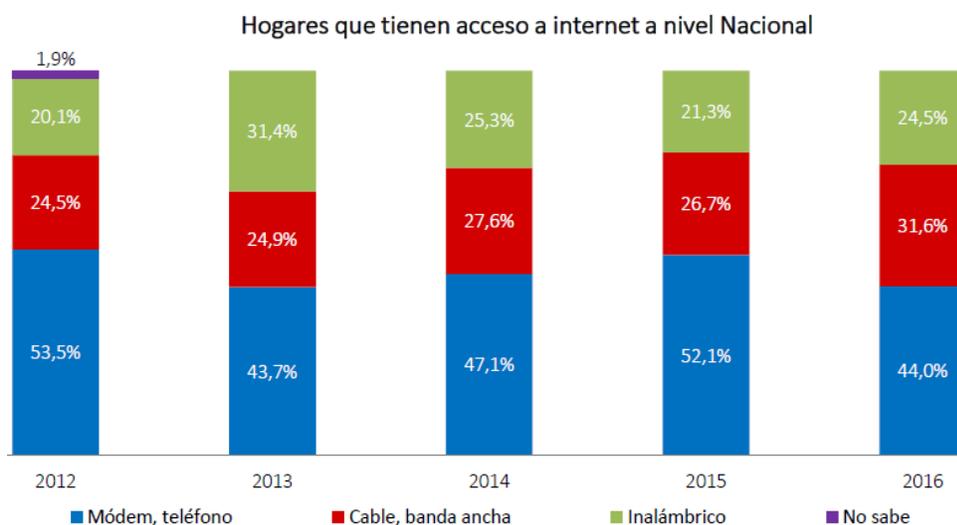


Figura 4.6. Porcentaje de acceso a Internet Nacional

Por su parte, en la Figura 4.7 se muestra el porcentaje de la población total que tiene acceso a la telefonía celular y a las redes sociales.

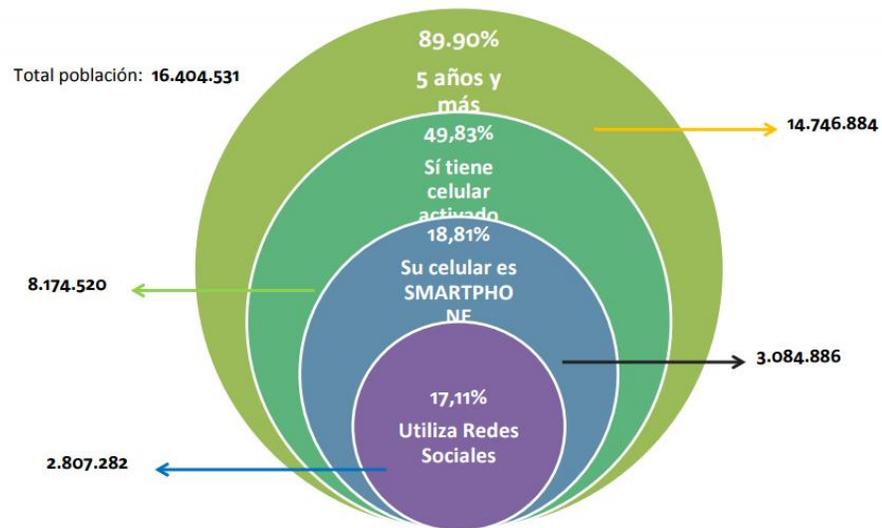


Figura 4.7. Porcentaje de población con celular y redes sociales.

Tal como puede apreciar, se tiene un mercado muy alto y con mucho potencial para ofrecer los servicios de VoIP a través de equipos inalámbricos principalmente como es el teléfono sofisticado (*SmartPhone*). Además, analizando el mercado ya existente se tiene que de 8.174.520 usuarios del sistema telefónico celular, existen 3.084.886 usuarios que tienen los equipos celulares adecuados para poder obtener el servicio de VoIP, y que al menos 2.807.282 usuarios podrían acceder al servicio de VoIP sin ningún problema.

En el análisis en cuestión no se está incluyendo a los usuarios que no utilizan *Smartphone* pero que podrían acceder al servicio de VoIP por medio de sus computadores personales o a través de teléfonos IP inalámbricos u otros medios.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DEL USO DE RSVP EN REDES INALÁMBRICAS

En este capítulo, se desarrolla el concepto de los mensajes RSVP, los cuales permiten determinar las condiciones, dificultades y resultados obtenidos de las comunicaciones de VoIP sobre las redes inalámbricas con QoS y sin la aplicación de QoS. Además de las características y resultados de la simulación realizada para la demostración del estudio realizado.

5.1. Descripción general

Tal como ha sido mencionado anteriormente, el *Protocolo de Reservación* (RSVP, *ReSerVation Protocol*) tiene como objetivo configurar reservas para recursos de Internet. Su propósito es crear estado de reserva de recursos de flujo específico en enrutadores y *hosts*. RVSP fue diseñado como un componente de servicio integrado, que provee un conjunto de extensiones de QoS para la arquitectura de Internet.

En líneas generales, una solicitud de reserva RSVP está conformado básicamente por un *flowspec*, que define la QoS deseada, y un *filter spec*, que define el subconjunto del flujo de datos al que se le aplicará la QoS [45].

Los requerimientos de diseño de RSVP, es decir, robustez, escalabilidad, flexibilidad y reserva heterogénea de recursos para flujos de datos multidifundidos y unidifundidos conlleva a las siguientes características básicas para la arquitectura de RSVP: a) un modelo de comunicación multipunto-multipunto; b) reservaciones iniciadas por el receptor; c) gestión de estado de caché en los enrutadores; d) separación de reservaciones desde el enrutador [45].

RSVP se basa en las siguientes metas [58]:

- Acoplar receptores heterogéneos.
- Adaptación a los cambios de los grupos multidifusión,
- Adicionar recursos para los grupos multidifusión.
- El receptor puede conmutar de canal.
- Disponibilidad de rutas para los cambios.
- Control del encabezado.
- Independencia en relación al protocolo de enrutamiento.

En el presente trabajo, la utilización de RSVP a fin garantizar la QoS requerida para tornar viable la consecución del servicio VoIP en una red inalámbrica se lleva a cabo mediante una emulación, en la cual además se transmiten simultáneamente un flujo de datos (sin dependencia temporal) y un video. La emulación en cuestión se implementó usando un AP (*Access Point*) IEEE 802.11n en conjunto con herramientas computacionales de simulación, tales como VirtualBox (versión 5.1) [59], Elastix (versión 5.0) [60], GNS3 [61], entre otras. La descripción detallada del prototipo de simulación se hace, más adelante, en la sección 5.7.

Es importante resaltar que, en la referida emulación también se analizó el escenario de interferencia RF (radiofrecuencia) existente en el entorno del prototipo de simulación. Al respecto, previamente es oportuno señalar que la presencia de señales RF provenientes de sistemas o redes (Bluetooth, radioenlaces, otras redes WLAN) cercanas físicamente hablando a la red WiFi de interés, puede deteriorar la relación S/I o la BER hasta el punto de dejar fuera del aire a la red de interés [25] o puede aumentar los valores que perjudican la QoS abordados en la sección 4.1.1, es decir, latencia, jitter y pérdida de paquetes, debido a que dependiendo de la amplitud de la señal interferente, la misma se presenta como una “falsa” red que compiten con la red real en el envío de los paquetes [1].

5.2. IP-sobre-IP encapsulado

La técnica de encapsular el datagrama de una IP (a ser transportada como una carga) dentro de otra IP es sencilla. Consiste en adicionar un encabezado de un IP

externo antes del encabezado del IP original. Entre ambos encabezados existen otros encabezados para direccionamiento, tales como los referidos a seguridad para la configuración de un túnel [62].

El encapsulado y desencapsulado de un datagrama generalmente es llamado “tunelización” del datagrama y tanto el encapsulador como desencapsulador son denominados los extremos del túnel.

El encapsulado es una manera de alterar el enrutamiento IP normal de datagramas mediante la entrega de dichos datagramas de un destino intermedio que de otra forma no sería seleccionado basado en el campo IDA (*IP Destination Address*).

El encapsulamiento IP-sobre-IP juega un importante rol en RSVP toda vez que los mensajes del protocolo precisamente son encapsulados en paquetes IP [63]. No obstante, es importante resaltar que, dado que IP por sí solo no garantiza la entrega de dichos paquetes al receptor, RSVP gestiona mensajes de “refrescamiento” periódicos desde los nodos para mantener actualizadas las reservaciones y actuar ante posibles pérdidas de paquetes.

5.3. Protocolo de reserva de Recursos Móviles RSVP

Un mensaje RSVP [64] incluye un encabezado común de longitud fija y unos o más objetos de longitud variable. En el caso del encabezado común incluye un conjunto de campos destinados a identificar la versión de RSVP, algunas banderas no definidas todavía, el tipo de mensaje, un *checksum* para la detección de errores en los mensajes, un campo de *Tiempo de Vida* (*TTL, Time To Live*) para saber cuántos nodos a lo largo de la ruta del flujo de datos no soportan RSVP, un campo reservado para usos futuros y la longitud del mensaje RSVP.

Siguiendo con la idea anterior, los mensajes RSVP llevan la información en forma de objetos. Cada objeto RSVP incluye un encabezado y uno o más contenidos. Este contenido depende de la clase del objeto. A continuación, se describen de forma general las principales clases de objetos:

- *Clase de sesión*: es identificado por una dirección de destino IP (*unicast* o *multicast*) de los paquetes que forman el flujo de datos, la identificación del protocolo y el puerto del receptor (por ejemplo, campo del puerto del receptor UDP/TCP). Una sesión de RSVP puede incluir varios flujos de datos que viajan desde varios remitentes al mismo destino *multicast*.
- *Clase de salto*: contiene la dirección IP del nodo que envió el mensaje RSVP. Si el mensaje está viajando *downstream*, el objeto se llama salto anterior (*previous hop* - PHOP). Por el contrario si el mensaje está viajando *upstream* se llama *salto siguiente* (*next hop* - NHOP).
- *Clase de especificación de flujo*: una especificación de flujo (*FlowSpec*) define el QoS deseado que se proporcionará al flujo de datos y sus características del tráfico. Un mensaje *Resv* lleva diversos QoS asociados a las diversas clases de servicios en este objeto. Dependiendo así la estructura de la especificación del flujo de la clase de servicio. Dos especificaciones de flujo se han definido hasta ahora que son carga controlada y especificación garantizada.
- *Clase de especificación de error*: identifica un error ocurrido durante el procesamiento de un mensaje de *Path* o *Resv*.
- *Clase de estilos*: especifica uno de los siguientes estilos de la reservación:
 - *Wildcard-Filter (WF)*: El filtro Wildcard, reserva el ancho de banda necesario para todos y cada uno de los remitentes.
 - *Fixed-Filter (FF)*: El filtro fijo, realiza una reserva separada de ancho de banda para cada uno de los remitentes.
 - *Shared-Explicit (SE)*: consiste en realizar una reserva de ancho de banda a un limitado grupo de remitentes
- *Clase de especificación de filtro*: identifica los paquetes de datos que recibirán el QoS especificado por el objeto *FlowSpec*.
- *Clase de TSPEC del remitente*: incluye las características del tráfico del flujo de datos generado por el remitente. Así como con el objeto *FlowSpec*, los campos incluidos en el objeto *TSpec* del remitente no están definidos en la especificación

de RSVP.

- *Clase de confirmación de reservación:* indica que el receptor desea una confirmación para la petición de la reservación. Los objetos antes descritos son transportados por los mensajes RSVP.

Entre los mensajes de mayor relevancia se encuentran:

- *Mensajes Path:* viajan desde el nodo remitente *downstream* hacia el nodo receptor. Los nodos intermedios (encaminamiento) utilizan los mensajes de *path* para establecer o para actualizar la información de estado de *path* (camino).
- *Mensajes de Resv:* puesto que RSVP es orientado al receptor, los mensajes de *Resv* viajan *upstream* desde el (los) receptor(es) hasta el remitente. Ellos llevan las peticiones de la reservación usadas para establecer o actualizar la información de estado de la reservación a lo largo de la ruta del flujo de datos. La información de estado de *path* (camino) debe haber sido establecida previamente en cada nodo a lo largo de la ruta de comunicación y es utilizada para el encaminamiento de los mensajes de *Resv* en el camino reverso al del flujo de datos.
- *Mensajes de PathTear:* RSVP proporciona un mecanismo para remover la información de estado de *path* y de la reservación de los nodos a través de la utilización de mensajes de *PathTear*. Un mensaje de *PathTear* viaja *downstream* y remueve cualquier información de estado de *Path* asociada con un flujo de datos, así como también la información correspondiente de estado de la reservación para la sesión.
- *Mensajes de ResvTear:* un mensaje de *ResvTear* viaja *upstream* y remueve cualquier información de estado de la reservación asociada a uno o más flujos de datos para una sesión.
- *Mensajes de PathErr:* hay varios errores, que pueden resultar del procesamiento de los mensajes de *Resv* y *Path*. Por ejemplo, un mensaje de *Path* puede ser rechazado porque la cuota de servicio para requerir

reservaciones de recursos del usuario remitente no es suficiente. Un mensaje de *PathErr* viaja *upstream* desde el punto donde el error se detecta hacia el nodo que generó el mensaje erróneo. El no modifica ninguna información de estado en los nodos intermedios, sino que puede hacer que algunas acciones sean tomadas por el remitente "culpable".

- *Mensajes de ResvErr*: un mensaje de *ResvErr* (error de la reservación) reporta cualquier problema encontrado durante la instalación de una reservación. Por ejemplo, un mensaje de *Resv* puede ser rechazado porque no hay suficientes recursos para satisfacer la petición de la reservación. El mensaje viaja salto por salto *downstream* desde el punto donde el error se detecta hasta el receptor que generó el mensaje de *Resv* correspondiente. Una vez que el mensaje de error llega al receptor, algunas acciones correctivas se pueden tomar, por ejemplo, la reducción de la cantidad de recursos de red solicitados.
- *Mensajes de Confirmación*: opcionalmente, un receptor puede pedir que su reservación sea confirmada. El mensaje de *ResvConf* notifica al receptor que una reservación ha sido instalada con éxito. El mensaje viaja *downstream* desde el punto donde la petición de la reservación no es propagada a ningún otro nodo, tal como el remitente del flujo de datos.

En base a lo anterior, las solicitudes de reserva de RSVP se definen en términos de una especificación del filtro y una especificación de flujo. Una especificación de filtro se utiliza para identificar el flujo de datos que es recibir la QoS especificados en una especificación de flujo. Un flujo de especificaciones define la QoS deseada en términos de una clase de servicio, que comprende una especificación de reserva (*RSpec*), y una especificación de tráfico (*TSpec*). *RSpec* define la reserva del flujo, es decir la QoS deseada. Por ejemplo, el servicio de tarifa.

Así, una *TSpec* define las características de tráfico del flujo por ejemplo, los datos que corresponde a los picos de tráfico.

En la Figura 5.1 se puede observar el intercambio de mensajes usados por RSVP con el fin de crear, mantener y liberar información de estado para una sesión de entre

uno o varios remitentes y uno o más receptores.

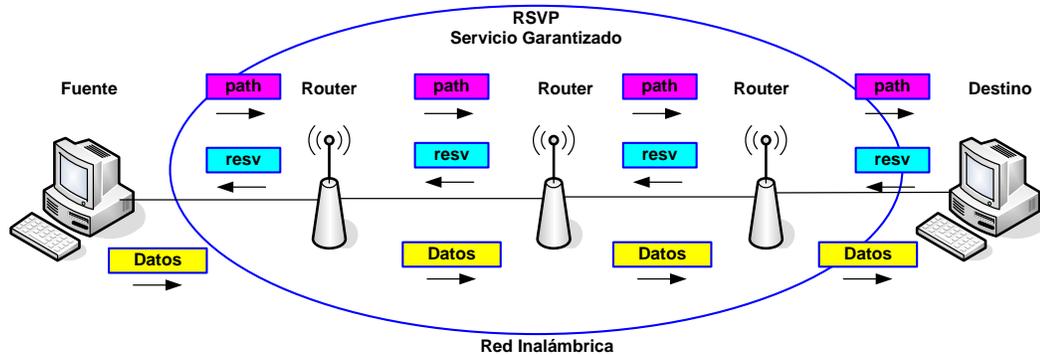


Figura 5.1. Intercambio de paquetes en una sesión RSVP

5.4. Las interrupciones de la QoS

Existen dos modelos generales que se han desarrollado para proporcionar calidad de servicio a las aplicaciones sobre redes de servicios convergentes. Estos modelos son de *Servicios Diferenciados (DiffServ)* y los *Servicios Integrados (IntServ)*.

El modelo *DiffServ* incluye un conjunto de herramientas de clasificación y marcado de datagramas en el nodo de origen, además de mecanismos de manejo de priorización de interrupciones de conmutación y encaminamiento de datagramas en los nodos de red. Con este modelo el tráfico de datos es marcado y dividido en clases o requerimientos de servicio. A cada clase de tráfico se le puede asignar un nivel diferente de prioridad. Cuando un paquete fluye por la red, cada encaminador identifica la clase y el tipo de servicio a que va destinado según su categoría (que viene marcada en la cabecera del paquete), donde serán tratados de igual modo si pertenecen a la misma clase. Con *Diffserv* se pueden escoger diferentes niveles de servicio; por ejemplo, al tráfico de voz se le da usualmente trato preferencial sobre otros tipos de aplicación como videos, *e-mail*, páginas *Web*, entre otros.

Por otra parte, el modelo *IntServ* definido en el RFC 1633 [65] se basa en que algunas aplicaciones requieren de una reservación consistente de recursos de red (ejemplo ancho de banda de canal). En este modelo la aplicación envía un mensaje

de señalización a la red, con el fin de solicitar un tipo de servicio, que le suministre el ancho de banda y el retardo máximo tolerable para los datagramas a ser enviados. Los recursos de red se mantienen hasta que la aplicación finaliza o hasta que el ancho de banda requerido por esta, exceda el límite que se había reservado para dicha aplicación.

IntServ basa su operación en RSVP para señalar y reservar la calidad de servicio requerida en la red. Así entonces un encaminador con soporte RSVP solicita reservar ancho de banda al siguiente encaminador, y este lo hace con el que le sigue y así sucesivamente. Cuando el último lo concede, todos se lo conceden a su encaminador anterior, dejando un ancho de banda reservado en todo el camino (ver Figura 5.1).

Entre las desventajas que se pueden encontrar en este modelo, se puede hacer referencia, a que su implementación es compleja, además, se tiene que todos los nodos que forman la red, incluidos los nodos de los extremos deben entender perfectamente el funcionamiento de las interrupciones de reserva del protocolo RSVP, también se tiene su falta de escalabilidad para grandes volúmenes de información, y que los servicios suministrados son poco flexibles.

Los modelos descritos anteriormente emplean a su vez mecanismo de calidad de servicios son usados para implementar eficientes políticas en el manejo de flujo de datos de la red. Desde el instante que un paquete circula por la red es clasificado y usualmente marcado con un tipo de identificador de clase, permitiendo así y según el modelo de QoS empleado que el paquete sea enviado, retrasado. Comprimido, fragmentado o descartado. Entre los mecanismos de mayor implementación se encuentran:

a) *Mecanismos de clasificación de paquetes*: La clasificación consiste en la identificación y división del tráfico de red en diferentes clases. En las redes donde son aplicados los QoS, todo el tráfico es clasificado en la entrada de la interfaz. La clasificación de paquetes es realizada basándose en factores, como:

- *Punto de Código de Servicios Diferenciados (DSCP, Differentiated Services Code Point).*
 - Precedencia IP.
 - Dirección fuente.
 - Dirección destino.
- b) *Mecanismo de marcado de paquetes:* Este mecanismo se encarga de marcar cada paquete como miembro de un determinado tipo de clase en la red, lo que hace que los encaminadores a través de todo el trayecto de red, logren reconocer rápidamente la clase a la cual pertenece el paquete, dándole el tratamiento correspondiente. Los mecanismos QoS configuran los bits en el campo DSCP o la precedencia IP en la cabecera del paquete IP, de acuerdo con la clase a la que pertenece el paquete.
- c) *Mecanismos de administración de congestión:* El control o administración de congestión se basa en la creación de colas, asignación de paquetes a dichas colas basándose en la clasificación de los mismos, y la distribución de paquetes en la cola para su comunicación.

Dependiendo del tipo de cola, se le dará un determinado tratamiento a través del algoritmo de encolamiento, basándose en la clase de paquete. La característica de control de congestión dentro de la calidad de servicio, ofrece un variado número de algoritmos de encolamiento, entre los que se destacan:

- *Primero en Entrar, Primero en Salir (FIFO, First In-First Out):* Este tipo de cola no contiene el concepto de prioridad o clase de tráfico. Por defecto los encaminadores se basan en este mecanismo.
- *Prioridad de Cola (PQ, Priority Queuing):* Los paquetes que pertenecen a la clase de prioridad de un tráfico, son enviados antes que todo el tráfico de más baja prioridad, para asegurar la entrega oportuna de estos.

- *Cola Personalizada (CQ, Custom Queuing)*: El ancho de banda se asigna proporcionalmente para cada clase de tráfico. Este permite especificar el número de bytes o de paquetes que se almacenan en la cola.
 - *Cola Ponderada (WFQ, Weighted Fair Queuing)*: Este asigna una ponderación a cada flujo, de esta forma determina el orden de tránsito en la cola de paquetes, divide el ancho de banda a través de las colas de tráfico basadas en pesos.
 - *Clase Ponderada (CBWFQ, Class Based Weighted Fair Queuing)*: Esta es una extensión de WFQ para brindar soporte a las clases de tráfico definidas por el usuario. En esta se especifican las clases de tráfico basadas en criterios de coincidencias que incluyen, protocolos, listas de control de acceso e interfaces de entrada.
- d) *Mecanismo de Prevención de Congestión*: Las metodologías de evasión o prevención de congestión se basan en la manera que los protocolos operan, con el fin de no llegar a la congestión de red. Los mecanismos de prevención de congestión monitorean la carga de tráfico en la red con la finalidad de anticipar y evitar la congestión en los comunes cuellos de botella en la red; esta evasión se consigue a través del descarte de paquetes antes de que las colas se llenen. Los mecanismos son implementados normalmente en la salida de la interfaz y se usan técnicas como la *Detección Temprana Aleatoria (RED, Random Early Detection)* y la *Detección Temprana Aleatoria Ponderada (WRED, Weighted Random Early Detection)* para tal fin.
- e) *Mecanismos Traffic Policing and Shaping*: Estos mecanismos son usados frecuentemente para condicionar el tráfico antes de ser transmitido o recibido en la red. A través de Traffic Policing se descartan los paquetes que hacen superar el ancho de banda disponible, evitando que se afecten a otros flujos. Con Traffic Shaping se encolan todos los paquetes que hacen que el ancho de banda aumente por encima de un valor establecido, evitando que sean descartados por cuellos de botella posteriores.

5.5. Descripción general del Protocolo

RSVP es básicamente un grupo de mensajes u objetos cuyo contenido definen el flujo de datos así como también los parámetros o requisitos que deben cumplir con la QoS. El protocolo RSVP, fue creado para permitir que los routers (encaminadores) decidan con anticipación, si la conexión de la red cumple o no, con los requisitos solicitados para la QoS.

El establecimiento de una conexión se genera con la transmisión de un mensaje *Path* y la recepción del mensaje *Resv* si la configuración fue realizada con éxito, o *PathErr* si existió algún error y no se realizó la configuración solicitada.

Cada uno de los mensajes RSVP tanto los enviados como los recibidos están formados por una cabecera común de 8 bytes seguido de un conjunto de objetos, y cada uno de los objetos están formados por una cabecera de 4 bytes seguido por el cuerpo del mensaje del objeto.

Los mensajes generados por RSVP son los siguientes: *Path*, *Resv*, *PathErr*, *ResvErr*, *PathTear*, *ResvTear*, *ResvConf*.

En la Tabla 4, se puede observar cómo está formado el encabezado de un mensaje RSVP.

bytes	0	1	2	3
	Vers	Flags	Msg Type	RSVP Checksum
	Send-TTL	Reserved	RSVP Length	

Tabla 4: Encabezado de un mensaje RSVP

Por su parte, en la Tabla 5 se muestra el encabezado de un objeto que contiene lo siguiente:

- El tamaño total del mensaje (*length*), ocupa 2 byte.
- Indica que tipo de protocolo de internet es, si es IPv4 o IPv6 (C-type), ocupa 1 byte.

- Asigna un número único para identificar el mensaje RSVP (Class-Num), ocupa 1 byte.

bytes	0	1	2	3
	Length(byte)		Class -Num	C – type
Contenido del Objeto				

Tabla 5: Encabezado del mensaje de un objeto

5.6. Establecimiento de una sesión RSVP

El remitente o el receptor pueden iniciar la operación de RSVP. Cuando una aplicación desea obtener algunas garantías de QoS para su flujo de datos, comienza a enviar mensajes de *Path* a los receptores en el grupo *multicast* (o a un receptor en una red *unicast*).

Cada encaminador inalámbrico a lo largo de la ruta del flujo de datos, que ha instalado la información de *Path* con éxito, generará mensajes periódicos de *Path* (etapa de refrescamiento de *Path*, *path refresh*), los cuales tienen la finalidad de refrescar y mantener activa la información de estado de la reserva de recursos de red. Hay que tener muy en cuenta cuando se utiliza RSVP en redes de IP móviles, ya que la IP de dicho móvil puede cambiar cuando existe un cambio de celda conocido como *handoff*, que hace que se pierda la información de *Path*.

Una vez que la aplicación recibe una indicación que la información de estado de *Path* ha sido instalada a lo largo de la ruta del flujo de datos (es decir después de que el receptor reciba y procese el primer mensaje de *Path*), puede comenzar a enviar peticiones de la reservación con la información de QoS (es decir con la especificación del flujo) según el mecanismo de manejo de colas de paquetes definidos.

El proceso RSVP en el receptor comenzará a enviar mensajes de *Resv* al remitente (etapa de establecimiento de la reservación, *reservation setup*). Estos mensajes son encaminados usando la información de estado de *path* almacenada en cada nodo a

lo largo de la ruta del flujo de datos y son utilizados por los encaminadores intermedios para instalar la información de estado de la reservación.

La instalación de la información de estado de la reservación puede ser compleja en el sentido que puede implicar el combinar de varias peticiones de reservación provenientes de múltiples receptores. Además, un receptor puede pedir una confirmación de su petición, en cuyo caso, un nodo intermedio o el remitente puede generar y enviar una confirmación de la petición instalada exitosamente (etapa de la confirmación de la reservación, *resv confirmation*).

Si no existe ninguna información de *Path* cuando un mensaje de *Resv* llega a un nodo, un mensaje de *ResvErr* se genera y se envía de regreso al receptor (etapa de error de la reservación, *reservation error*). Puede que un nodo no pueda instalar la reservación requerida por otras razones. Por ejemplo, si la red no tiene suficientes recursos para satisfacer la petición, un mensaje de *ResvErr* se genera y se envía de regreso al receptor.

Cada nodo que ha instalado la información de la reservación exitosamente, generará mensajes periódicos de *Resv* (etapa de refrescamiento de la reservación, *reservation refresh*) con la finalidad de refrescar y mantener activa la información de estado de la reservación.

La información de estado de *path* y de la reservación puede ser removidas si el correspondiente mensaje de refrescamiento no llega a tiempo (es decir etapas de liberación de *Path* y liberación de *Resv*, *path tear down* y *resv tear down*, respectivamente). Además, una aplicación puede requerir que una información de *Path* sea removida porque, por ejemplo, desea salir de la sesión. El remitente envía un mensaje de *PathTear* que remueva cualquier información de *path* e información de estado de la reservación correspondiente. Semejantemente, la aplicación en el lado del receptor puede querer salir de la sesión comunicándose con el proceso RSVP, el cual enviará un mensaje de *ResvTear*, el cual remueve solamente la información de estado de la reservación.

5.7. Rendimiento y nivel de aplicación

Tal como fue mencionado en la sección 1.4 (Metodología) como valor agregado al presente trabajo y como una forma de complementar el análisis inicialmente propuesto el estudio de los problemas relacionados con la implementación de VoIP en sistemas inalámbricos y sus posibles soluciones, en esta sección se implementa una emulación para evaluar el rendimiento del servicio de VoIP sobre una red WiFi, sin o con aplicación de opciones de QoS (basadas en RSVP). Asimismo, conforme fue señalado en la sección 5.1, para la simulación, junto con el servicio VoIP se transmite una señal de datos y otra de video. La razón por la cual se usó WiFi es porque actualmente se trata de una de las tecnologías de red inalámbrica más utilizada a lo largo y ancho del mundo para aplicaciones multimedia, por su condición de acceso gratuito a la misma.

Para desplegar el funcionamiento del Servidor de VoIP se utilizó el software de virtualización VirtualBox (versión 5.1) [59]. Esta máquina virtual se aprovisionó con 16 GB de HDD, 1 GB de RAM y la interface de red se configuró en modo *bridge* con la interface cableada del equipo físico. Sobre VirtualBox se instaló una máquina virtual de central de telefonía Elastix (versión 5.0) [60]. Para emular la red se usa el simulador basado en GNS3 [61] que permite emular el comportamiento de dos encaminadores Cisco con soporte RSVP (Cisco 7200 versión 12.4 [66]) (ver Anexo A.1). Además, también fue utilizado un emulador de teléfono IP mediante el software (UA SIP) *ZoiPer* [67] (ver Anexo A.2).

En la Figura 5.2, se muestra un diagrama del sistema emulado: el servidor Asterisk, el cliente zoiper (instalado en el computador portátil o laptop), el AP WiFi y los dos encaminadores. Además, se incluye un acceso a Internet mediante la tecnología de modem de cable.

Usando el software anterior, se realizó una conexión física de 2 computadores portátiles (laptops) y un AP IEEE 802.11n (configurado para el canal 4, en 2,4 GHz), con el siguiente procedimiento:

- *Asus con procesador Core I5 con 8 GB de RAM:*
 - Se conecta al AP WiFi IEEE 802.11n y a Internet mediante cable modem.
 - Se despliega la ejecución del simulador GNS3 (en la Figura 5.3 se muestra el diagrama de conexión con los encaminadores Cisco llamados R1 y R2).
 - Implanta un UA Zoiper.
 - Implanta el Elastix virtualizado.
- *Dell con procesador Core I5 con 4 GB de RAM:*
 - Se conecta al AP WiFi IEEE 802.11n y a Ethernet (aunque para fines de esta emulación solo se usó la interface WiFi).
 - Implanta una máquina virtual de Linux sobre VirtualBox para desplegar la ejecución del programa de monitoreo *Smokeping* [65]. La máquina virtual se configuró con 16 GB de HDD, 512 KB de RAM y la interface de red se configuro en modo bridge con la interface WiFi del equipo físico.
 - Implanta un UA Zoiper. Desde este UZ se hacen las llamadas al otro UA implantado en el otro laptop.

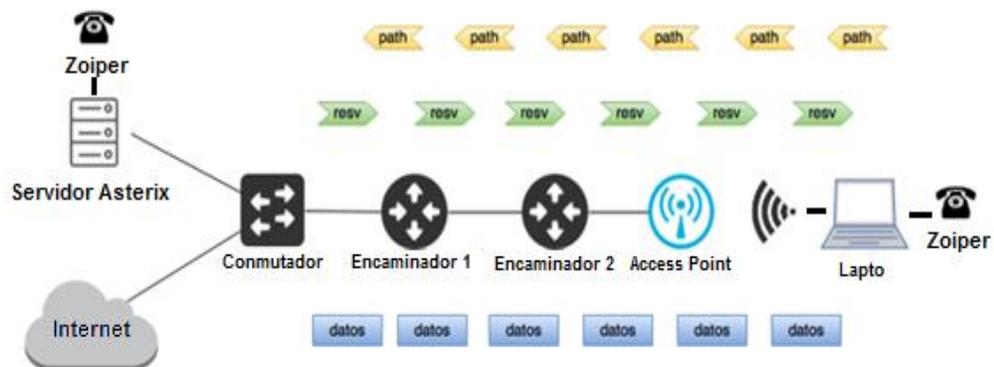


Figura 5.2. Red emulada para análisis del flujo de datos de la VoIP empleando diferentes codec y usando RSVP sobre una red inalámbrica

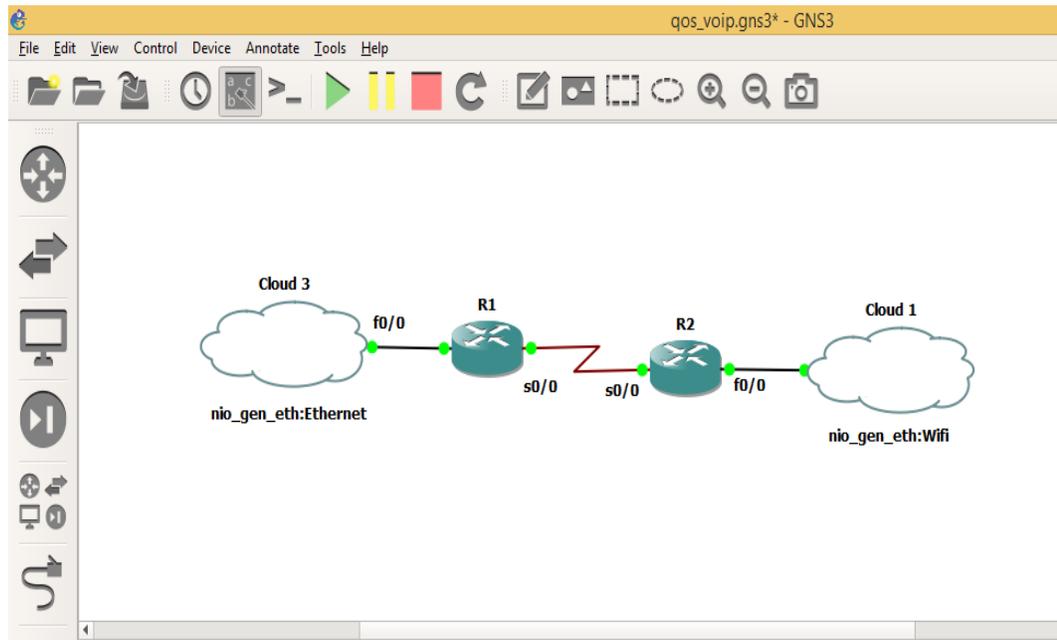


Figura 5.3. Diagrama de conexión realizada en GNS3 con router cisco c7200

Una vez realizadas las conexiones se procede con las configuraciones de cada uno de los encaminadores, así como también se configuran la salida de las nubes de la Figura 5.3. En las Figuras 5.4 y 5.5 se muestran las configuraciones de los encaminadores R1 y R2. Asimismo, en el Anexo B se tienen dichas configuraciones de forma más detallada.

Usando una interfaz de red virtual se logró conectar el R1 al segmento de red cableada del dispositivo AP (IEEE 802.11n). El R2 se conectó a un modem de salida a Internet y un servidor *Asterisk* previamente configurado.

Con el propósito de obtener valores estimados de rendimiento antes y después de la implementación de las opciones de QoS, se restringió el canal de comunicación entre R1 y R2. Para ello, se configura la interfaz de red respectiva en cada encaminador para soportar velocidades de transmisión máximas de 2 Mbps.

```

R1
*Mar 1 00:00:10.735: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed
R1#
R1#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 172.16.255.2 to network 0.0.0.0

     172.16.0.0/16 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       172.16.255.2/32 is directly connected, Serial0/0
C       172.16.255.0/30 is directly connected, Serial0/0
     10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       10.10.10.0 is directly connected, FastEthernet0/0
S*    0.0.0.0/0 [1/0] via 172.16.255.2
R1#sh ip int br
Interface                IP-Address      OK? Method Status        Protocol
FastEthernet0/0          10.10.10.1      YES NVRAM    up            up
Serial0/0                 172.16.255.1    YES NVRAM    up            up
FastEthernet0/1          unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
Serial0/1                 unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
FastEthernet1/0          unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
FastEthernet2/0          unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
R1#

```

Figura 5.4. Configuración del encaminador R1

```

R2
*Mar 1 00:00:09.979: %LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet2/0, changed state to administra
*Mar 1 00:00:10.939: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed stat
*Mar 1 00:00:10.955: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet1/0, change
*Mar 1 00:00:10.979: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet2/0, change
R2#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

     172.16.0.0/16 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       172.16.255.1/32 is directly connected, Serial0/0
C       172.16.255.0/30 is directly connected, Serial0/0
     10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
S       10.10.10.0 [1/0] via 172.16.255.1
R2#sh ip int br
Interface                IP-Address      OK? Method Status        Protocol
FastEthernet0/0          unassigned      YES DHCP    up            up
Serial0/0                 172.16.255.2    YES NVRAM    up            up
FastEthernet0/1          unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
Serial0/1                 unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
FastEthernet1/0          unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
FastEthernet2/0          unassigned      YES NVRAM    administrativ down down
NVIO                      unassigned      NO  unset    up            up
R2#
R2#

```

Figura 5.5. Configuración del encaminador R2

Con esa configuración inicial, se midieron por separado (usando el software Smokeping [68]), por espacio de 20 min, sin aplicar QoS, la velocidad de transmisión para cada uno de los servicios involucrados, es decir, descarga de un archivo de datos (4 GB aproximadamente), reproducción de un video desde un servicio en Internet y una llamada telefónica establecida desde el dispositivo IP hacia el teléfono convencional conectado al servidor *Asterisk*. En las Figuras 5.6, 5.7 y 5.8 se muestran los resultados gráficos obtenidos para cada uno de los casos señalados, respectivamente. En dichas figuras, el RTT (*Round Trip Time*) permite extraer la información acerca de la latencia y el jitter, siendo el valor promedio del RTT (primer valor mostrado) la latencia y la desviación estándar del RTT el jitter. Adicionalmente la pérdida de paquetes corresponde al valor promedio del mismo, es decir, el primer valor mostrado.

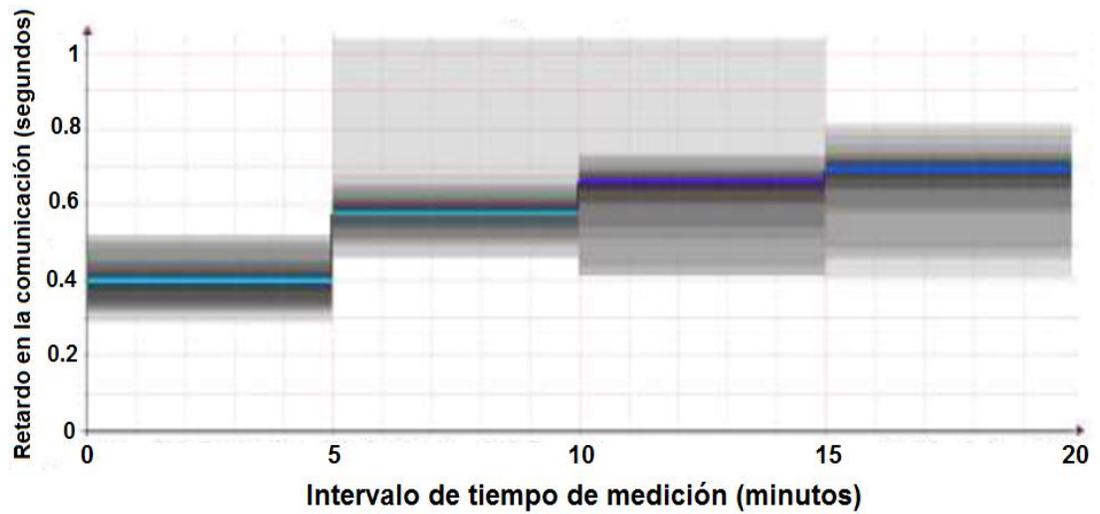
Los valores de las tres métricas, para esas pruebas sin implementación de QoS, se resumen en la Tabla 6.

Por su parte, los resultados obtenidos para la transmisión de cada uno de los servicios considerados (datos, video y llamada VoIP) cuando se implementa QoS se ilustran en las Figuras 5.9, 5.10 y 5.11.

En la Tabla 7, se resumen los valores obtenidos para las tres métricas (latencia, jitter y pérdidas de paquetes), para cada uno de los tres servicios, cuando se aplica QoS a la transmisión.

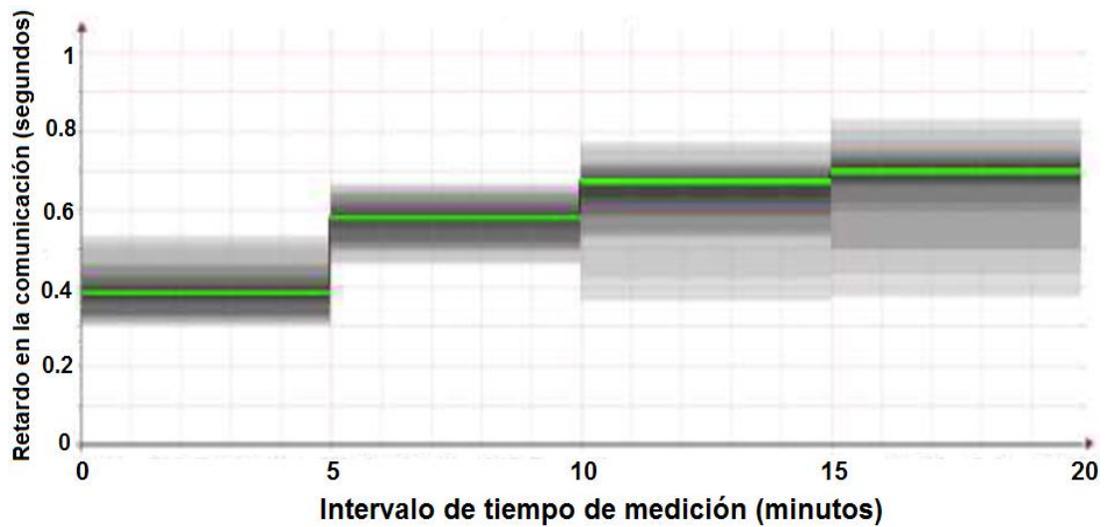
Es oportuno destacar que, durante la ejecución de las pruebas se usó el codec G.711 para el servicio de VoIP. Este codec viene configurado por omisión en la aplicación *Asterisk*, pero en caso de no ser así, se le puede instalar.

Asimismo, es importante resaltar que, que el simulador GNS3 permite crear instancias virtuales de encaminadores de tecnología Cisco como los usados en esta simulación. Estos encaminadores virtuales se pueden conectar a dispositivos físicos en una red real a través de la interfaz de red del dispositivo donde se ejecuta el simulador.



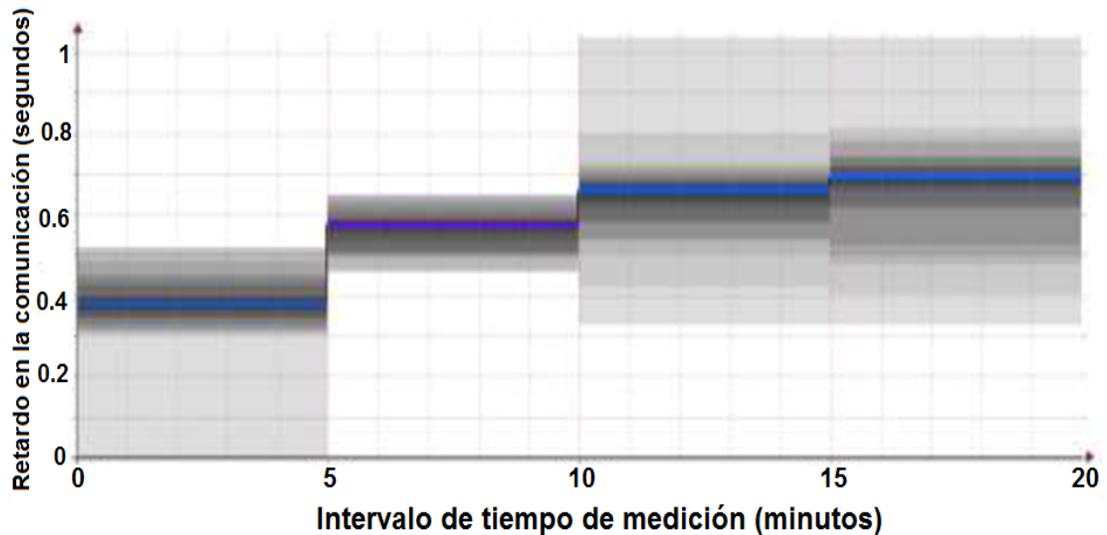
RTT Promedio: 513,7 ms (promedio) 691,9 ms (máximo) 246,7 (mínimo) 167,7 ms (desviación estándar)
 Pérdida de paquetes: 6,00 % (promedio) 14,65 % (máximo) 0,00 % (mínimo)

Figura 5.6. Valores durante transferencia de datos (sin opciones de QoS)



RTT Promedio: 515,4 ms (promedio) 695,4 ms (máximo) 245,8 ms (mínimo) 173,0 (desviación estándar)
 Pérdida de paquetes: 0,00 (promedio) 0,00 % (máximo) 0,00 % (mínimo)

Figura 5.7. Valores durante transferencia de video (sin opciones de QoS)



RTT Promedio: 509,5 ms (promedio) 690,5 ms (máximo) 245,9 ms (mínimo) 171,0 ms (desviación estándar)

Pérdida de paquetes: 8,00 % (promedio) 13,20 % (máximo) 3,57 % (mínimo)

Figura 5.8. Valores durante transferencia de VoIP (sin opciones de QoS)

Servicio	Latencia (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes (%)
Datos	513,7	167,7	6
Video	515,4	173,0	0
VoIP	509,5	171,0	8

Tabla 6: Valores de las métricas registrados en el conmutador sin aplicar QoS

Por otra parte, para el análisis del escenario de interferencia de la señal de radio en el entorno circundante del prototipo de simulación, se recurrió a la herramienta computacional Homedale [69] a fin de visualizar, entre otras informaciones, el número del canal ocupado por cada red WiFi cercana a la red de interés con su respectivo nivel de potencia recibida, tal como se puede observar en la Figuras 5.12 y 5.13. Es oportuno destacar que, tal como fue mencionado, el AP (llamado VoIP1 en la emulación) se configuró en el canal 4; esto con el fin de seleccionar uno de los canales menos congestionados en el momento de la realización de las pruebas.

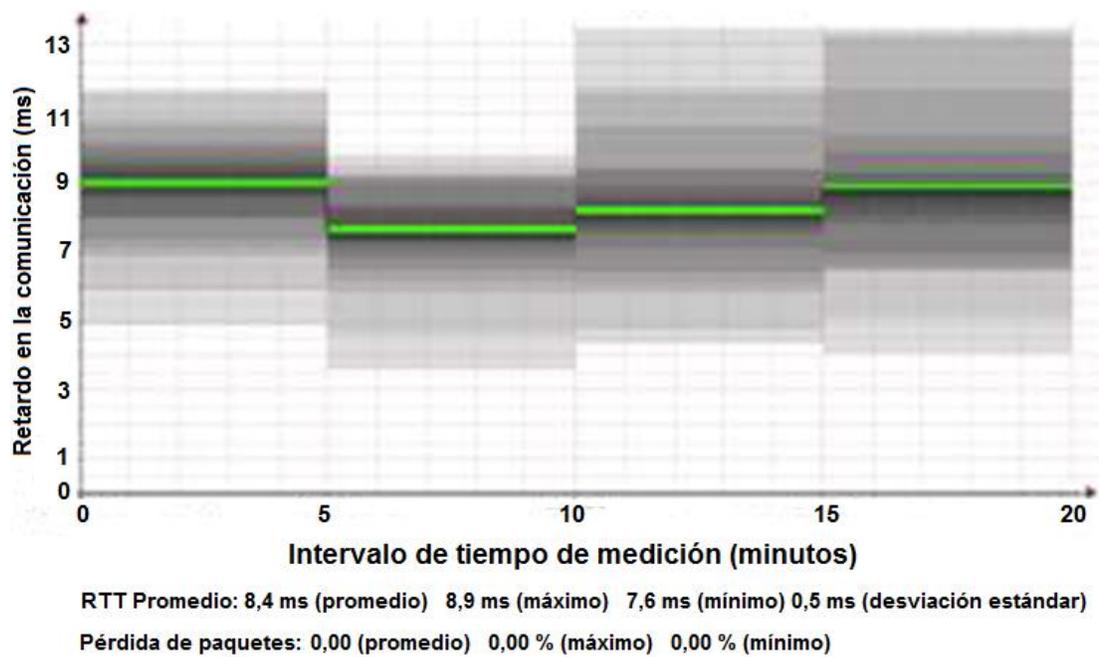


Figura 5.9. Valores durante transferencia de datos (QoS implementada)

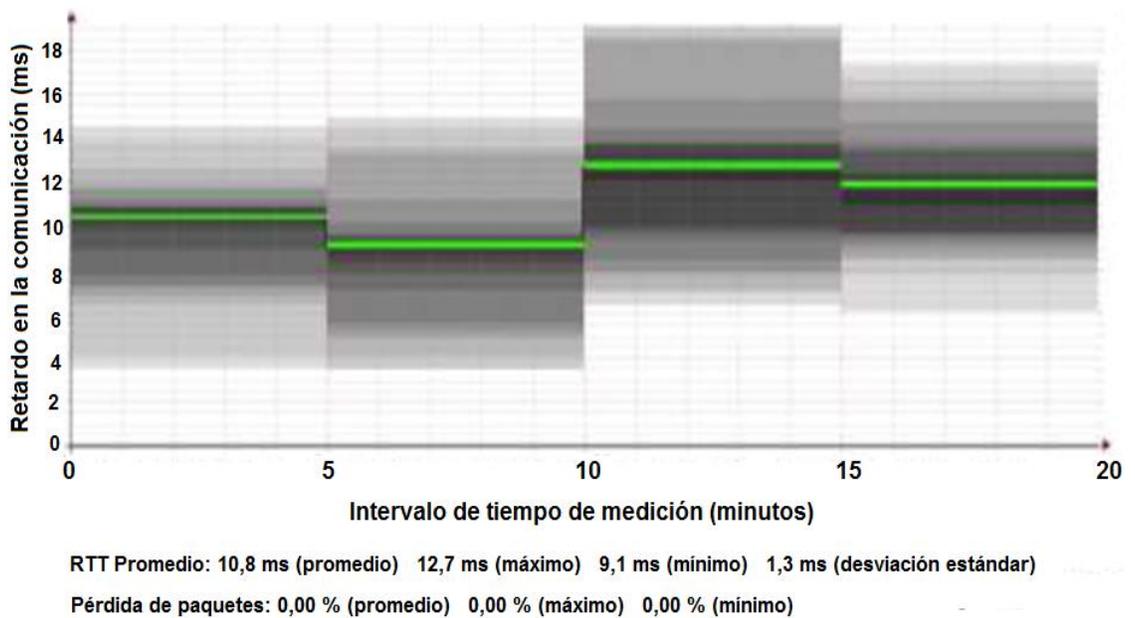


Figura 5.10. Valores durante transferencia de video (QoS implementada)

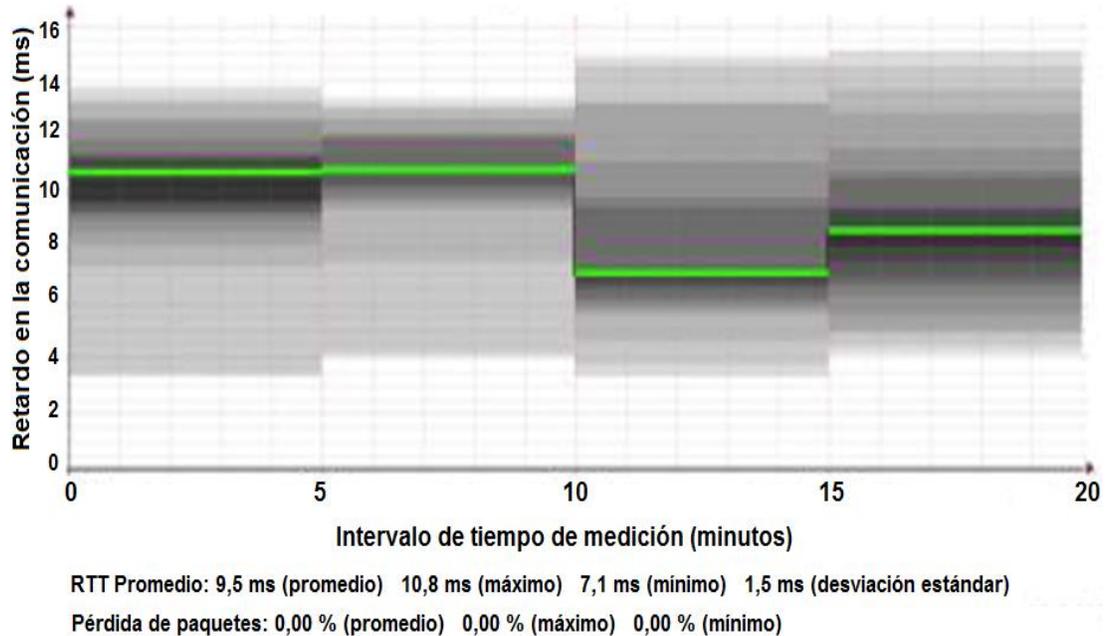


Figura 5.11. Valores durante transferencia de VoIP (QoS implementada)

Servicio	Latencia (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes (%)
Datos	8,4	0,5	0
Video	10,8	1,3	0
VoIP	9,5	1,5	0

Tabla 7: Valores de las métricas registrados en el conmutador con implementación de QoS

5.8. Análisis y discusión

De la emulación implementada se comprueba que la red inalámbrica simulada presenta latencia y jitter independientemente de si sobre la red se ha implementado o no QoS. Sin embargo, es notorio que los órdenes de magnitud entre los valores de dichas métricas arrojadas con o sin QoS son significativamente diferentes. En el caso concreto de la emulación realizada en este trabajo, cuando no se implementan

opciones de QoS sobre el flujo de paquetes que se está transmitiendo, la Tabla 6 muestra que la latencia está por el orden de los 500 ms (para los tres servicios implementados), mientras que el jitter se encuentra alrededor de los 170 ms, también para los tres servicios implementados. Adicionalmente, de la Tabla 6 se observa que para los servicios de datos y VoIP se presentaron pérdidas de paquetes de 6% y 8% respectivamente. Mientras que, cuando se implementa QoS a través de RSVP, de la Tabla 7 se observa una drástica disminución para la latencia y el jitter, hasta alrededor de los 9,5 ms para la latencia y cerca de 1 ms para el jitter. Además, en la misma Tabla 7 se observa que no hubo pérdidas de paquetes para ninguno de los tres servicios considerados.

Adicionalmente, de las Tablas 6 y 7 se aprecia que la latencia en ambos casos, es decir, sin o con QoS, fue ligeramente mayor para el servicio de video lo que es debido al mayor volumen de tráfico que representa dicho servicio. Asimismo, se observa que cuando no se implementa QoS en la red inalámbrica el servicio de VoIP está sujeto a pérdidas de paquetes, situación que se solventó, al menos en la emulación realizada en este trabajo, aplicando, precisamente, RSVP.

En todo caso, es oportuno resaltar que de acuerdo a la Recomendación ITU-T G.114 [54] y según los valores de latencia obtenidos en la emulación cuando no fue aplicada ninguna condición de QoS, ninguno de los tres servicios considerados, es decir, datos, video y VoIP sería viable, puesto que en los tres casos se supera el valor límite de 400 ms. Por tanto, la aplicación de RSVP se torna de vital importancia para hacer posible la transmisión de esos servicios. Asimismo, según la sección 4.1.2, en la cual se indica que para que el flujo de paquetes en el receptor sea considerado como eficaz, el jitter debe ser menor a 100 ms, por lo que ninguno de los tres servicios considerados en la emulación, sin QoS, serían posibles. Finalmente, considerando el requisito de QoS en términos de la pérdida de paquetes (sección 4.1.2), los servicios datos y VoIP objeto de la emulación, que presentaron pérdidas de paquetes de 6 % y 8 %, respectivamente, cuando no se optó por QoS, están en el límite de la viabilidad para su transmisión.

Por su parte, de las Figuras 5.12 y 5.13 se observa que efectivamente el canal 4, operando en 2,4 GHz para el cual se configuró el AP, fue uno de los menos congestionados, lo cual conllevó a que el nivel de potencia recibida por el receptor del prototipo de pruebas fuese considerablemente superior (-16 dBm) en comparación que los niveles de potencia de las señales provenientes de otras redes WiFi que pudieran interferir en la red de interés, como por ejemplo, las redes TVCableNovoa (-86 dBm), TVCable_VelazquesGarcia (-87 dBm) y TVCableFlores (-83 dBm). De esa manera, la relación S/I resultante fue de 67 dB o más, valor considerablemente superior a los 25 dB que se considera como S/I mínima aceptable para transmisión de VoIP en WLAN medianamente rápida [25]. Por ello, se puede concluir que para el escenario de pruebas emulado, la interferencia RF provenientes de otras redes WiFi no fue significativa.

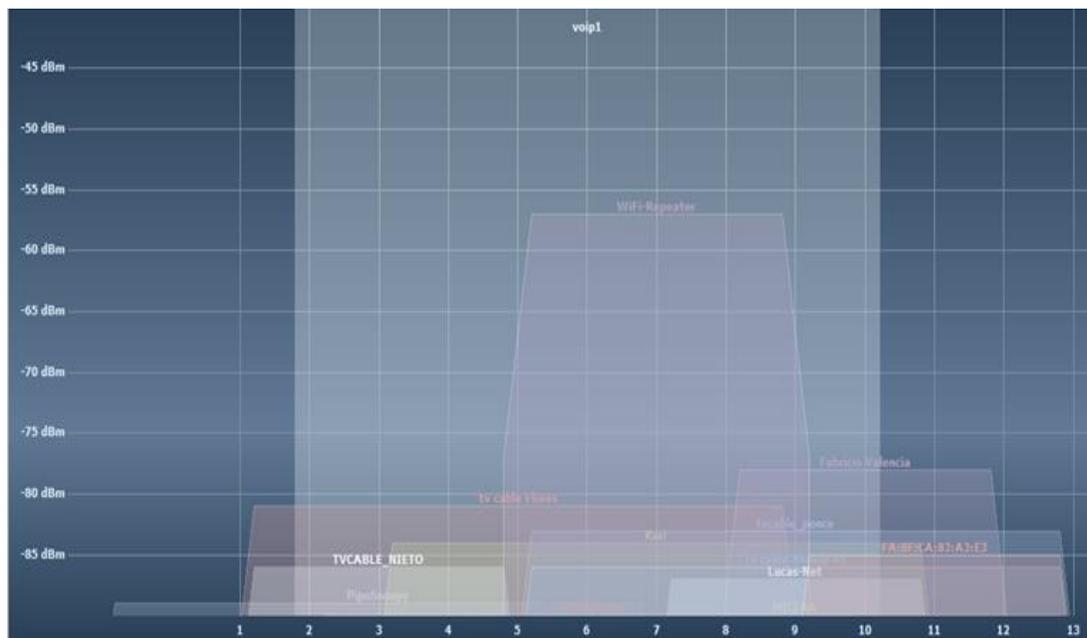


Figura 5.12. Canal de cada red WiFi activa

Access Point	MAC Address	Vendor	Signal Strength	Signal Strength History	Encryption	C...	Mode	Frequency
	FA:8F:CA:83:A3:E3	Google, Inc.	-84 dBm		WPA2 PSK [CCMP]		Infrastructure	Ch 11 [2.462 GHz]
Fabrizio Valencia	C4:04:15:90:16:F4	Netgear	-84 dBm		WPA2 PSK [CCMP]		Infrastructure...	Ch 10 [2.457 GHz]
Kari	E4:8E:ED:49:87:95	Netcore Technology Inc.	-83 dBm		WPA PSK [TKIP & CCMP], WPA...		Infrastructure...	Ch 9 [2.452 GHz] + Ch 5
Lucas-Net	44:94:FC:98:F8:F1	Netgear	-89 dBm		WPA2 PSK [CCMP]		Infrastructure...	Ch 9 [2.452 GHz]
MILENA	F8:D1:11:48:ED:CC	TP-Link Technologies C...	-89 dBm		WPA PSK [CCMP], WPA2 PSK [...]		Infrastructure...	Ch 11 [2.462 GHz] + Ch 7
PipoSnoopy	94:10:3E:85:E8:64	Belkin International Inc.	-90 dBm		WPA2 PSK [CCMP]		Infrastructure	Ch 1 [2.412 GHz] + Ch 5
Tv cable Abuelo 43	64:66:B3:78:06:F4	TP-Link Technologies C...	-89 dBm		WPA PSK [CCMP], WPA2 PSK [...]	E...	Infrastructure...	Ch 11 [2.462 GHz] + Ch 7
tv cable Flores	64:66:B3:61:AA:30	TP-Link Technologies C...	-83 dBm		WPA PSK [CCMP], WPA2 PSK [...]	E...	Infrastructure...	Ch 7 [2.442 GHz] + Ch 3
TVCABLE_CARDENASROMERO	64:66:B3:D0:82:58	TP-Link Technologies C...	-88 dBm		WPA PSK [CCMP], WPA2 PSK [...]	E...	Infrastructure...	Ch 1 [2.412 GHz] + Ch 5
TVCABLE_NIETO	04:A1:51:96:48:FC	Netgear	-88 dBm		WPA2 PSK [CCMP]		Infrastructure...	Ch 3 [2.422 GHz]
tv cable_ponce	A0:F3:C1:3A:DC:12	TP-Link Technologies C...	-85 dBm		WPA PSK [CCMP], WPA2 PSK [...]	E...	Infrastructure...	Ch 11 [2.462 GHz] + Ch 7
TvCable_VelasquezGarcia	CA:E9:84:3F:07:9C	TP-Link Technologies C...	-87 dBm		WPA2 PSK [CCMP]		Infrastructure...	Ch 1 [2.412 GHz] + Ch 5
Tv cable Noboa	F8:D1:11:BF:2E:F2	TP-Link Technologies C...	-86 dBm		WPA PSK [TKIP & CCMP], WPA...		Infrastructure...	Ch 4 [2.427 GHz] + Ch 8
voip1	10:8E:F5:D9:78:1C	D-Link International	-16 dBm		WPA PSK [TKIP & CCMP], WPA...		Infrastructure...	Ch 4 [2.427 GHz] + Ch 8
Wifi-Repeater	00:ED:20:7B:54:87	Tecnomen Oy	-62 dBm		WPA2 PSK [CCMP]	U...	Infrastructure...	Ch 7 [2.442 GHz]

Figura 5.13. Nivel de potencia recibida en cada red WiFi activa

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio realizado en el presente trabajo permitió poner de manifiesto los problemas que implica la transmisión del servicio de VoIP en sistemas inalámbricos de telecomunicaciones, así como sus posibles soluciones, siendo tal vez la más resaltante el uso del protocolo RSVP.

Se ha podido confirmar que cuando se utiliza el protocolo RSVP en cada uno de los encaminadores de una red inalámbrica de datos, se consigue mejorar considerablemente QoS, lo cual se verificó por la considerable disminución de la latencia y del jitter a niveles muy pequeños, así como en la eliminación de la pérdida de los paquetes transmitidos en cada uno de los servicios considerados en las pruebas.

Aunque en el presente trabajo se hizo énfasis en redes basadas en IEEE 802.11, esta afirmación sobre las opciones de QoS aplica para la mayoría de los sistemas inalámbricos empleados para la comunicación de datos, video y voz. Sin embargo, se debe tener muy en cuenta los sistemas de IP Móviles en los que se pueden presentar problemas adicionales como los retardos en las reservaciones, la no disponibilidad de los recursos y las interrupciones de los servicios.

La demanda comprobada de servicios de telecomunicaciones por parte de los usuarios en Ecuador se convierte en un aliciente natural para la implementación de tecnologías y migración de las ya existentes en el país, para el soporte del servicio de VoIP. Corresponderá a los actores involucrados, es decir, Estado, operadoras, usuarios, fabricantes, investigadores y comunidad organizada, crear las condiciones necesarias para que tal hecho tenga lugar.

Por otra parte, se recomienda:

Extender la realización de las pruebas implementadas en este trabajo a otras posibles situaciones que se pueden presentar en la transmisión de información en una red inalámbrica de datos, como por ejemplo, la pérdida momentánea de la conexión,

variación del tipo de canal inalámbrico, presencia de ruido o interferencia en la red, entre otras.

Evaluar el impacto de los codecs en la QoS de la transmisión.

Extender la evaluación aquí implementada a otros tipos de sistemas inalámbricos de telecomunicaciones que soporten el servicio de VoIP, como ejemplo, sistemas de telefonía celulares, sistemas satelitales, entre otros.

Realizar las pruebas en sistemas inalámbricos reales en funcionamiento.

Con referencia al aspecto legal, se recomienda establecer una política de Estado en Ecuador que fomente, para todos los actores involucrados (operadoras, usuarios, fabricantes, etc.) la implementación de las nuevas tecnologías en los sistemas de telecomunicaciones y la migración de los sistemas ya existentes a Todo-IP.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Geier J. (2015). Wireless LAN Implications, Problems, and Solutions. [En línea]. Disponible en: <http://www.ciscopress.com/articles/printerfriendly/2351131> (consultada en septiembre 2015).
- [2] Banerji S., Chowdhury R.S. On IEEE 802.11: Wireless LAN Technology, International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT), Vol. 3, No. 4, August 2013, pp. 1-19.
- [3] IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee. IEEE 802.11™ Wireless Local Area Networks. En línea]. Disponible en: <http://www.ieee802.org/11/> (consultada en julio 2014).
- [4] Oliveira-Figueredo J.M. Projeto de Implantação de Redes Wireless em Distâncias de 10 km, 20 km e 50 km. Trabalho para título de Bacharel em Sistemas de Informação, Faculdade de Balsas, Brasil, 2013.
- [5] Narayan S., et al. Performance Test of IEEE 802.11ac Wireless Devices. International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI 2015), Coimbatore, India, January 2015.
- [6] Sibal V., Allen B., Edwards D., Honary B. Twenty Years of Ultrawideband: Opportunities and Challenges. IET Communications, Vol. 6, No. 10, July 2012, pp. 1147-1162.
- [7] Sable A. Comparative Study on IEEE Standard of WPAN 802.15.1/3/4. International Journal for Research in Emerging Science and Technology, Vol. 1, No. 1, June 2014, pp. 25-28.
- [8] Mohammed R., Mustafa A., Osman A. A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards. IOSR Journal of Computer Engineering, Vol. 17, No. 5, September-October 2015, pp. 26-29.
- [9] Banerji S., Chowdhury R.S. Wi-Fi & WiMAX: A Comparative Study. Indian Journal of Engineering, Vol.2, No. 5, January-March 2013, pp. 51-54.

- [10] Bari S.G., Jadhav K.P., Jagtap V.P. High Speed Packet Access. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 4, No. 8, August 2013, pp. 3422-3428.
- [11] Oni O.O, Idachaba F.E., Oshin O.I., Nkordeh N.S. A Comparative Review of Improvements in Long Term Evolution. 2015 World Congress on Engineering (WCE 2015), London, United Kingdom, July 2015,
- [12] Riaz Ahamed S. S. Review and Analysis of Local Multipoint Distribution System (LMDS) to Deliver Voice, Data, Internet, and Video Services. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Vol.1. No. 1, October 2009, pp. 1-7.
- [13] LiFi- an Enhanced Mode for Future Wireless Communication. [En línea]. Disponible en: <http://www.lifi-lab.com/lifi/lifi-enhanced-mode-future-wireless-communication-review.html> (consultada en diciembre 2015).
- [14] Otieno F.B. Internet Protocol Television (IPTV) Services. Bachelor Degree, Engineering Information Technology, Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, Finland, April 2016.
- [15] Tanenbaum A.S., Wetherall D.J. Computer Networks. Fifth Edition, Prentice Hall, 2011.
- [16] Musale V.P., Apte S.S. Security Risks in Bluetooth Devices. International Journal of Computer Applications, Vol. 51, No.1, August 2012, pp. 1-6.
- [17] ZigBee Alliance. What is ZigBee?, [En línea]. Disponible en: <http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/> (consultada en enero 2015).
- [18] Li X., Gani A., Slleh R., Zakaria O. The Future of Mobile Wireless Communication Networks. International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN '09), Macau, China, February 2009,
- [19] Rappaport, T.S. Wireless Communications: Principles and Practice. 2nd Edition, Prentice Hall, 2002.

- [20] Ghosh A., et al. Heterogeneous Cellular Networks: From Theory to Practice. IEEE Communications Magazine, Vol. 50, No. 6, June 2012, pp. 54-64.
- [21] Chandrasekhar V., Andrews J.G., Gatherer A. Femtocell Networks: A Survey. IEEE Communications Magazine, Vol. 46, No. 9, September 2008, pp. 59-67.
- [22] Pérez-García N.A. Cálculo de Cobertura de Sistemas WLL e LMDS. Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/Rio), Rio de Janeiro, Brasil, 2000.
- [23] Mitra A. Lecture Notes on Mobile Communication, Department of Electronics and Communication Engineering. Indian Institute of Technology Guwahati, India, 2009.
- [24] Maral G., Bousquet M. Satellite Communications Systems Fifth Edition, John Wiley & Sons, 2009.
- [25] Pérez N.A. Planificación y Diseño de Redes de Telecomunicaciones. Notas de Aula, Maestría en Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador, Julio-Agosto 2015.
- [26] Bogineni K., et al. LTE Part I: Core Network. IEEE Communication Magazine, Vol. 47, No. 2, February 2009, pp. 40-43.
- [27] Oni O.O, Atayero A.A., Idachaba F.E., Alatishe A.S. LTE Networks: Benchmarks, Prospects and Deployment Limitation. 2014 Congress on Engineering 2014 (WCE 2014), London, United Kingdom, July 2015.
- [28] Kumar S. Fourth Generation of Mobile Communication Systems: Evolution, Objectives, Prospects and Challenges. First Asian Himalayas Conference on Internet (AH-ICI 2009), Kathmundu, Nepal, November 2009.
- [29] Ríos A., Alcóber J., Oller A. Desarrollo de una Plataforma de VoIP basada en Software Libre, Jornadas de Programari Lliure. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, España, 2006.

- [30] Solís O.A. Diseño e Implementación de una Central Telefónica IP para Comunicaciones Unificadas utilizando Software Libre. Trabajo de Grado, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2012.
- [31] Quintana D. Diseño e Implementación de una Red de Telefonía IP con Software Libre en la RAAP. Trabajo de Grado, Ingeniero en Telecomunicaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2007.
- [32] Ayala F.J. Codificación de Voz basada en Análisis Cepstral, Análisis Wavelet y Escalas Perceptuales de Frecuencia. Tesis de Maestría, Ingeniería Eléctrica (Procesamiento Digital de Señales), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D.F., 2011.
- [33] Bin Norani M.Z. Performance Analysis of 8 Kbps Voice Codec (G.729, G.711 A-Law, G.711 μ -Law) for VoIP over Wireless Local Area Network with respective Signal-to Noise Ratio. Bachelor of Computer Science, Universiti Malaysia Pahang, 2013.
- [34] Lyon D.A. The μ -Law CODEC. Journal of Object Technology, Vol. 7, No. 8, November-December 2008, pp. 17-31.
- [35] Shetty N., Gibson J.D. Improving the Robustness of the G.722 Wideband Speech Codec to Packet Losses for Voice over WLANs. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2006), Toulouse, France, May 2006.
- [36] International Telecommunication Union (ITU). ITU-T Recommendation G.723.1: Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s. Geneva, Switzerland, 1996.
- [37] Shafi N.A., Farrok O., Ali M.M. An Analysis of VoIP Communication and Overview of Bangladesh Practical Field. International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 5, No. 3, June 2013, pp. 775-778.
- [38] Salami R., Laflamme C., Bessette B., Adoul J.P. Description of ITU-T Recommendation G.729 Annex A: Reduced Complexity 8 kbit/s CS-ACELP Codec.

International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 1997), Munich, Bavaria, Germany, April 1997.

[39] Cisco. Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption. [En línea]. Disponible en: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html> (consultada en mayo 2016).

[40] Arora R. (1999). Voice over IP: Protocols and Standards. [En Línea]. Disponible en: http://www.cs.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/voip_protocols/#2.-H.323 (consultada en mayo 2016).

[41] Montoya-Benito R. Diseño y Configuración de dos Plataformas de Interfonía H.323. Proyecto Fin de Carrera, Ingeniería Sistemas y Automática (área de Ingeniería Telemática), Universidad de Sevilla, España, 2006.

[42] Santamaría-González W. Protocolos de Señalización usada Actualmente para Terminales Móviles e IP. Facultad de Matemáticas e Ingeniería, Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Bogotá, Colombia, 2011.

[43] Braden R. Zhang L., Berson S., Herzog S., Jamin S. RFC 2205 - Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1. Functional Specification. Internet Engineering Task Force, September 1997.

[44] Villapol M.E., Billington J. (2003). Analysing Properties of the Resource Reservation Protocol. [En línea]. Disponible en: <http://www.ciens.ucv.ve/mvillap/Papers/RSVP-PTN-%5b1%5d.6.pdf> (consultada en mayo 2016).

[45] Braden R., Estrin D., Berson S., Herzog S., Zappala D. The Design of the RSVP Protocol, Final Report. Information Sciences Institute, University of Southern California, Los Angeles, USA, 1995.

[46] Perkins C. RFC 3220 - Mobility Support in IPv4. Internet Engineering Task Force, January 2002.

[47] Perkins C., Johnson D., Arkko J. RFC 6275 - IP Mobility Support for IPv6. Internet Engineering Task Force, July 2011.

- [48] Chen Y. (1995). A Survey Paper on Mobile IP. [En línea]. Disponible en: http://www.cs.wustl.edu/~jain/cis788-95/ftp/mobile_ip/index.html#Entities (consultada en enero 2016).
- [49] Perez-Costa X., Torrent-Moreno M. A Performance Study of Hierarchical Mobile IPv6 from a System Perspective. IEEE 2003 International Conference on Communications (ICC 2003.), Anchorage, Alaska, May 2003.
- [50] Landivar E. Comunicaciones Unificadas con Elastix. 2da Edición, Vol. 1, 2009.
- [51] Belhoul A., Quality of Service (QoS) Provisioning Mechanisms in Fourth Generation (4G) Wireless All-IP Networks. Ph.D. Thesis, Department of Electrical and Computer Systems Engineering, Monash University, Melbourne, Australia, December 2007.
- [52] International Telecommunication Union (ITU). ITU-T Recommendation G.165: Echo Cancellers. Geneve, Switzerland, 1993.
- [53] International Telecommunication Union (ITU). ITU-T Recommendation G.168: Digital Network Echo Cancellers. Geneve, Switzerland, 2015.
- [54] Union Internacional de Telecomunicaciones (UIT). ITU Recomendación UIT-T G.114. Sistemas y Medios de Transmisión, Sistemas y Redes Digitales, Ginebra,
- [55] International Telecommunication Union (ITU). ITU Recommendation Y.1540: Internet Protocol Data Communication Service – IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters. Geneve, Switzerland, 2016.
- [56] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (Arcotel). [En línea]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/la-arcotel/> (consultada en septiembre 2016).
- [57] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC). [En línea]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/> (consultada en junio 2016).

- [58] Jappila P. RSVP. [En línea]. Disponible en: <https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38130/k99/presentations/9.pdf> (consultada en septiembre 2016).
- [59] VirtualBox. [En línea]. Disponible en: <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads> (consultada en septiembre 2016).
- [60] Elastix. [En línea]. Disponible en: <https://www.elastix.org/downloads/> (consultada en septiembre 2016).
- [61] GNS3. [En línea]. Disponible en: <https://gns3.com/community/> (consultada en septiembre 2016).
- [62] Perkins C. RFC 2003 - IP Encapsulation within IP. Internet Engineering Task Force, October 1996.
- [63] Villapol M.E, Billington. RSVP for LEO Satellites. IEEE International Conference on Networks (ICON 1999), Brisbane, Australia, September-October 1999.
- [64] Priyankar L., Manju S. Performance Evaluation of Audio Codecs using VoIP Traffic in Wireless LAN using RSVP. International Journal of Computer Applications, Vol. 40, No. 7, February 2012, pp. 15-21.
- [65] Clark D. RFC 1633 - Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview. Internet Engineering Task Force, June 1994.
- [66] Cisco. [En línea]. Disponible en: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/index.html> (consultada en septiembre 2016).
- [67] ZoiPer. [En línea]. Disponible en: <http://www.zoiper.com/en/voip-softphone/download/zoiper3> (consultada en septiembre 2016).
- [68] Smokeping. En línea]. Disponible en: <http://oss.oetiker.ch/smokeping/doc/index.en.html> (consultada en septiembre 2016).
- [69] Homedale. En línea]. Disponible en: <http://www.the-sz.com/products/homedale/> (consultada en septiembre 2016).

ANEXO A

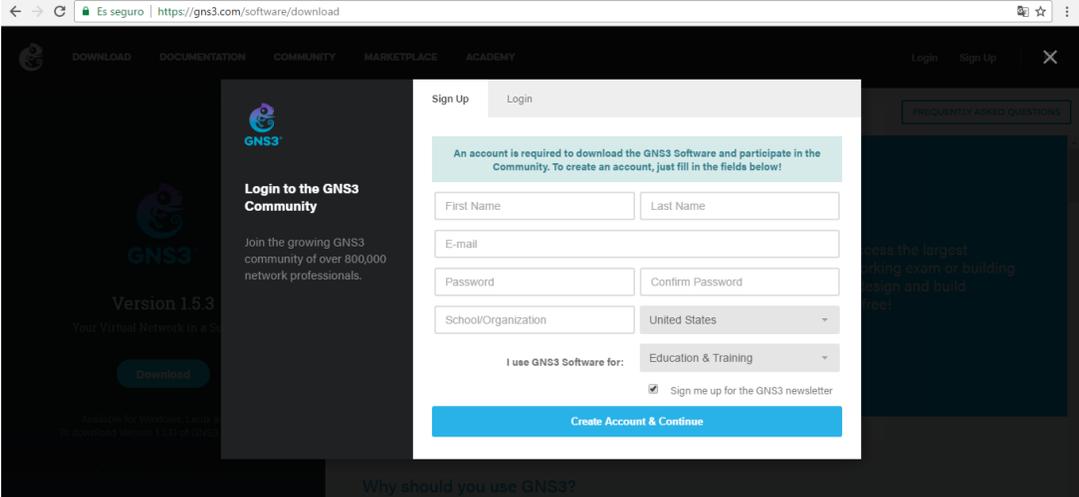
A. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO

A.1. Instalación y configuración de GNS3

El software GNS2 se puede descargar de:

<https://www.gns3.com/software>

Al clicar en “Download” aparece la pantalla mostrada en la Figura A.1, en la cual el usuario se registra de manera gratuita para acceder a la herramienta computacional.



The screenshot shows a web browser window at the URL <https://gns3.com/software/download>. The page features a dark theme with a navigation menu at the top including 'DOWNLOAD', 'DOCUMENTATION', 'COMMUNITY', 'MARKETPLACE', and 'ACADEMY'. A central modal window is open, titled 'Sign Up' and 'Login'. The modal contains a message: 'An account is required to download the GNS3 Software and participate in the Community. To create an account, just fill in the fields below!'. The registration form includes fields for 'First Name', 'Last Name', 'E-mail', 'Password', and 'Confirm Password'. There are also dropdown menus for 'School/Organization' (set to 'United States') and 'I use GNS3 Software for:' (set to 'Education & Training'). A checkbox for 'Sign me up for the GNS3 newsletter' is checked. A blue button at the bottom of the modal reads 'Create Account & Continue'. The background of the page shows a 'Download' button and text about 'Version 1.5.3'.

Figura A.1. Registro en GNS3

Seguidamente, se procede a descargar e instalar el software, seleccionando previamente el tipo de sistema operativo instalado en el computador.

A.1.1. Iniciando GNS3

Se crea un nuevo proyecto, se le asigna el nombre y posteriormente se descarga e instalan las IOs de Cisco que se necesitan, es decir, C3725 o C7200:

<http://www.netcomm-solutions.com/ciscoios/c3725-adventerprisek9-mz.124-15.T14.bin>

Luego, se clic en Edit, se selecciona las preferencias, se escoge Dynamips y selecciona *new – new imagen*. Se busca y elige la imagen descargada, como se muestra en la Figura A.2.

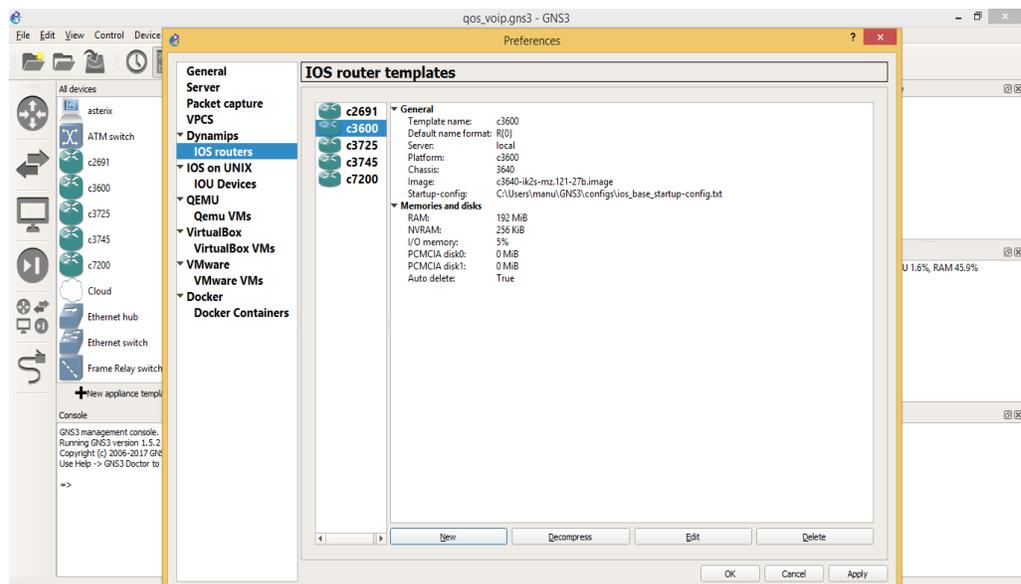


Figura A.2. Selección del encaminador

Se crea la topología, como se muestra en la Figura A.3 y se configuran los routers según el Anexo B.

Se configura cada una de las nubes con salida a cada una de las interfaces de red, como se aprecia en la Figuras A.4 y A.5.

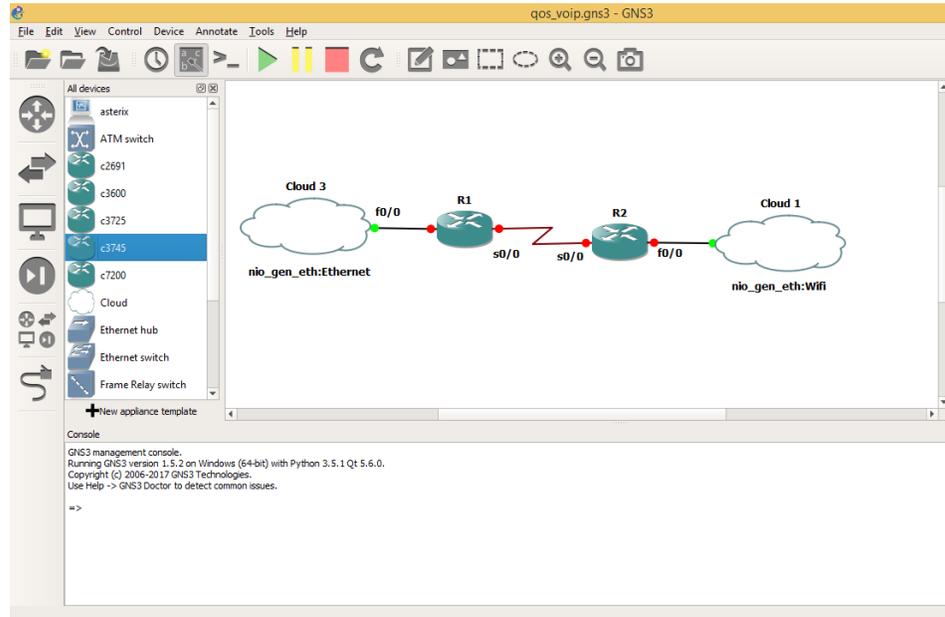


Figura A.3. Topología a simular

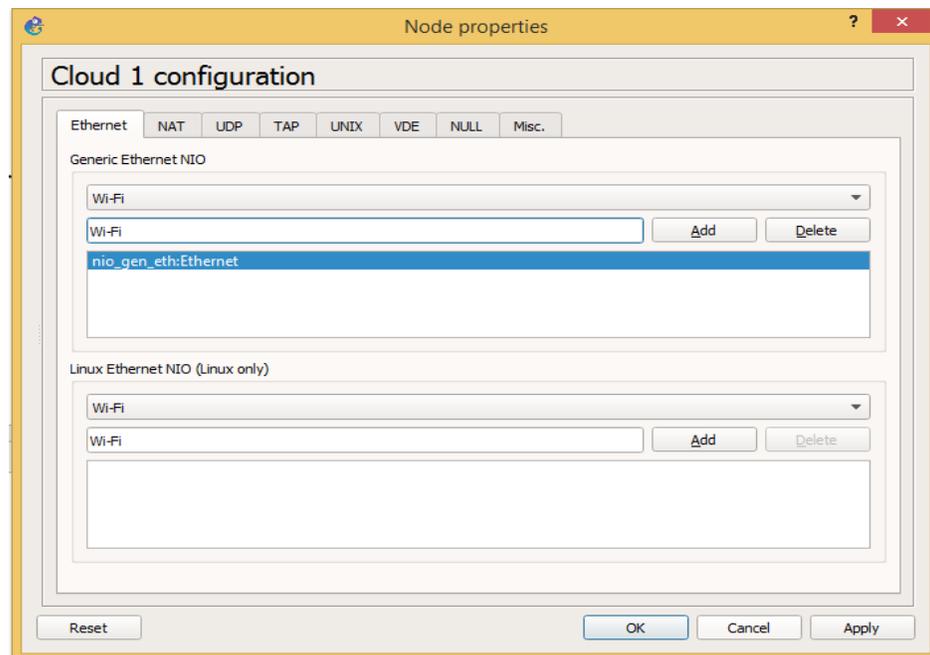


Figura A.4. Selección de salida de red WiFi

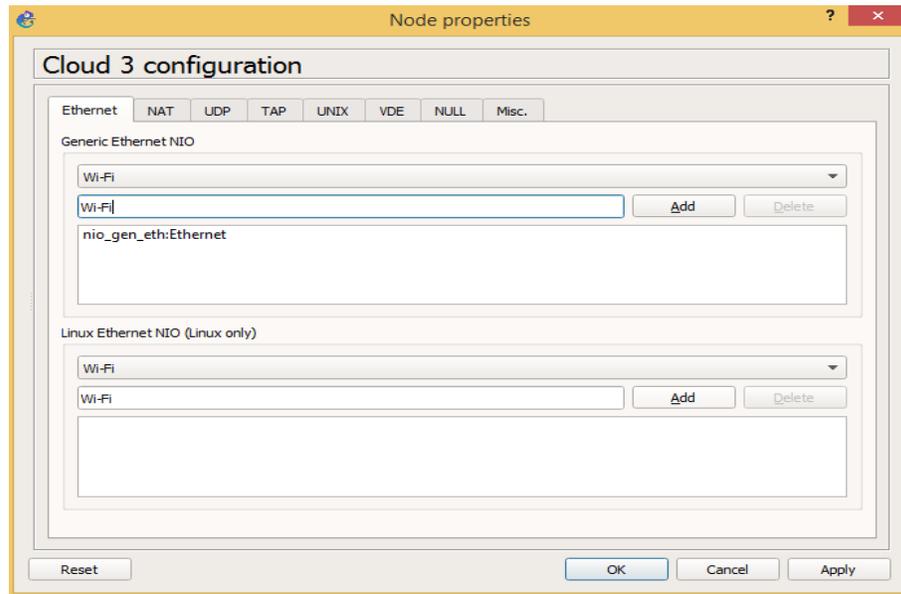


Figura A.5. Selección de salida de red Ethernet

A.2. Instalación y configuración de Zoiper

El software se descarga de:

<http://www.zoiper.com/en/voip-softphone/download/zoiper3>

Dicho link detecta automáticamente el sistema operativo del computador, tal como se ilustra en la Figura A.6.

Finalizada la instalación del Zoiper a la configuración del teléfono IP. Para ello, se clicla en Configuración y selecciona Preferencias, tal como muestra la Figura A.7.

Seguidamente, se crea la cuenta (ver Figura A.8), para lo cual se ingresa el “User”, que es la extensión asignada por la central Asterix, el “Password”, es decir, clave de acceso designada por Asterix y “Domain”, que corresponde a la dirección IP del servidor Asterix.

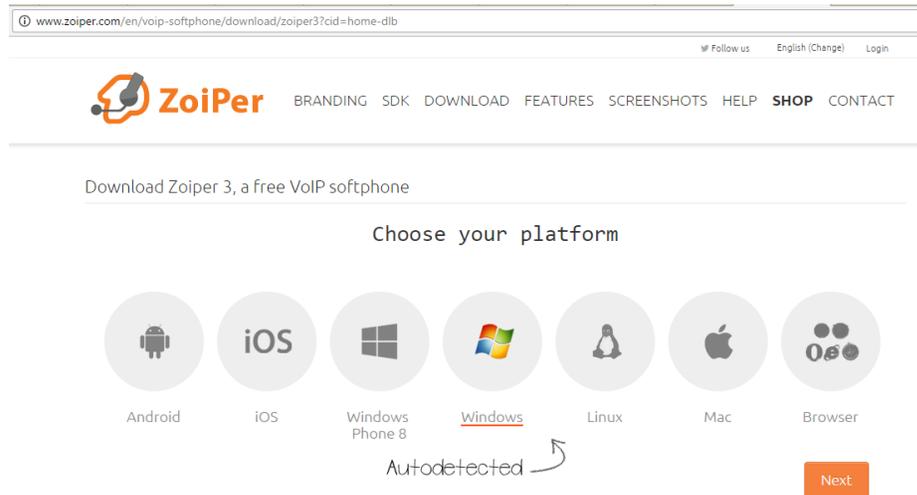


Figura A.6. Selección del sistema operativo a descargar

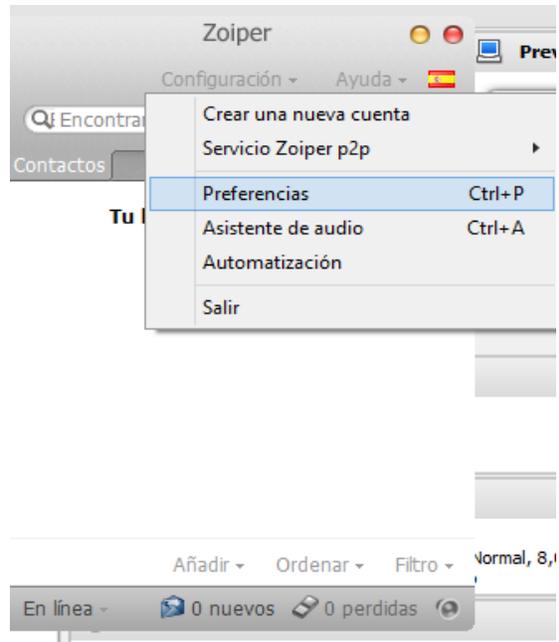


Figura A.7. Configuración de Zoiper

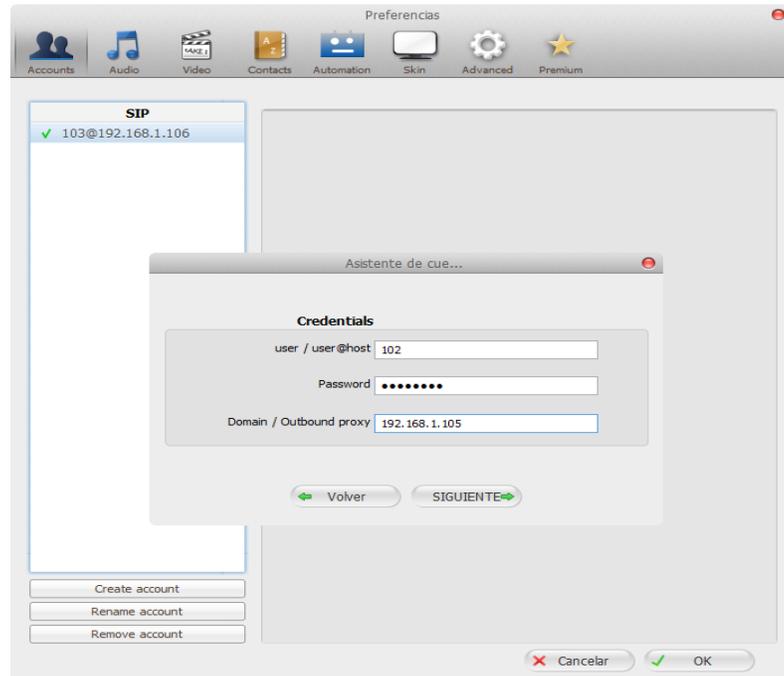


Figura A.8. Creación de la cuenta de cliente

El teléfono virtual IP, mostrado en la Figura A.9, ya está listo para ser usado.



Figura A.9. Teléfono virtual ZoiPer

ANEXO B

B. CONFIGURACIÓN DE LOS ROUTERS

B.1. Configuración del router R1

```
!  
version 12.4  
!  
hostname R1  
!  
!  
ip name-server 8.8.8.8  
ip name-server 8.8.4.4  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
class-map match-any datos-out  
match access-group name datos  
class-map match-any video-out  
match access-group name video  
!  
!  
policy-map rsvp-out  
class datos-out  
set ip precedence 1  
class video-out
```

```
    set ip precedence 3
class class-default
    set ip precedence 5
!
interface FastEthernet0/0
description CONEXION_LAN
ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
ip route-cache flow
duplex auto
speed auto
!
interface Serial0/0
description CONEXION_R2
bandwidth 2000
ip address 172.16.255.1 255.255.255.252
encapsulation ppp
ip route-cache flow
clock rate 4000000
service-policy output rsvp-out
!
interface FastEthernet0/1
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
interface Serial0/1
no ip address
shutdown
clock rate 2000000
```

```
!  
interface FastEthernet1/0  
no ip address  
shutdown  
duplex auto  
speed auto  
!  
interface FastEthernet2/0  
no ip address  
shutdown  
duplex auto  
speed auto  
!  
ip forward-protocol nd  
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 172.16.255.2  
!  
!  
no ip http server  
no ip http secure-server  
!  
ip access-list standard NAT  
permit 10.0.0.0 0.255.255.255  
ip access-list standard datos  
permit 201.159.221.67  
ip access-list standard video  
permit 190.15.141.22  
!  
no cdp log mismatch duplex  
!  
control-plane
```

```
!  
!  
end
```

B.2. Configuración del router R2

```
!  
version 12.4  
hostname R2  
!  
!  
ip name-server 8.8.8.8  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
class-map match-any datos-in  
match access-group name datos  
class-map match-any video-in  
match access-group name video  
!  
!  
policy-map rsvp-in  
class datos-in  
set ip precedence 1  
class video-in  
set ip precedence 3  
class class-default  
set ip precedence 5
```

```
!  
!  
interface FastEthernet0/0  
  description CONEXION_INTERNET  
  ip address dhcp  
  ip nat outside  
  ip virtual-reassembly  
  duplex auto  
  speed auto  
!  
interface Serial0/0  
  description CONEXION_R1  
  bandwidth 2000  
  ip address 172.16.255.2 255.255.255.252  
  ip nat inside  
  no ip virtual-reassembly  
  encapsulation ppp  
  clock rate 4000000  
  service-policy input rsvp-in  
!  
interface FastEthernet0/1  
  no ip address  
  shutdown  
  duplex auto  
  speed auto  
!  
interface Serial0/1  
  no ip address  
  shutdown  
  clock rate 2000000
```

```
!  
interface FastEthernet1/0  
no ip address  
shutdown  
duplex auto  
speed auto  
!  
interface FastEthernet2/0  
no ip address  
shutdown  
duplex auto  
speed auto  
!  
ip forward-protocol nd  
ip route 10.10.10.0 255.255.255.0 172.16.255.1  
!  
!  
no ip http server  
no ip http secure-server  
ip nat inside source list NAT interface FastEthernet0/0 overload  
!  
ip access-list standard NAT  
permit 10.0.0.0 0.255.255.255  
permit 172.16.0.0 0.0.255.255  
permit 192.168.0.0 0.0.255.255  
ip access-list standard datos  
permit 201.159.221.67  
ip access-list standard video  
permit 190.15.141.22  
!
```

```
no cdp log mismatch duplex
```

```
!
```

```
!
```

```
control-plane
```

```
!
```

```
!
```

```
!
```

```
!
```

```
end
```

ANEXO C

C. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Access Point (AP):** Dispositivo encargado de suministrar conexión inalámbrica a los usuarios terminales en una red WLAN
- **Buffer:** Memoria de almacenamiento temporal de información
- **Ethernet:** Estándar de redes de área local para computadores
- **Gateway:** Dispositivo intermediario dedicado a intercomunicar sistemas con protocolos incompatibles.
- **Host:** Dispositivo de una red de comunicaciones que hacen posible el acceso de los usuarios a la red
- **Jitter:** Es la fluctuación temporal durante el envío de señales digitales
- **Relación Señal/Interferencia (S/I):** Es una medida, en dB, entre el nivel de potencia recibida y el nivel de la señal de interferencia. Para que un receptor opere satisfactoriamente, la relación S/I debe ser igual o mayor a la mínima requerida por el sistema.
- **Retardo:** Se refiere al tiempo que toma un paquete en recorrer el camino desde que es transmitido hasta que es recibido.
- **Router:** Dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red
- **Smartphone:** Teléfono móvil que disponen de un sistema operativo propio
- **Tasa de Error del Bit:** Se define como la razón entre número de bits errados y el número de bits transmitidos
- **VoIP:** Voz sobre IP, señal de voz que viaja a través de Internet empleando un protocolo IP.

ANEXO D

D. ABREVIATURAS

3GPP	Third Generation Partnership Project
ACELP	Algebraic Code Excited Linear Prediction
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
ATA	Analog Telephone Adapter
BER	Bit Error Rate
BU	Binding Update
CBWFQ	Class Based Weighted Fair Queuing
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Correspondent Node
COA	Care-of-address
CQ	Custom Queuing
DSP	Digital Signal Processing
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FIFO	First In, First Out
GEO	Geostationary Earth Orbit
GSM	Global System for Mobile communications
HA	Home Agent
HA	Home Address
HF	Foreign Agent
HMIPv6	Hierarchical Mobile IPv6
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HTTP	HyperText Transfer Protocol

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IPDV	IP Packet Delay Variation
IPER	IP Packet Error Ratio
IPLR	IP Packet Loss Ratio
IPTD	IP Packet Transfer Delay
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISPN	Integrated Services Packet Network
ITU	International Telecommunication Union
LCoA	Link Care-of-Address
LEO	Low Earth Orbit
LiFi	Light Fidelity
LMDS	Local Multipoint Distribution Services
LPC	Linear Predictive Coding
LTE	Long Term Evolution).
LTE-A	LTE Advanced
MA	Mobility Agent
MAP	Mobility Anchor Point
MC	Multipoint Controller
MCU	Multipoint Control Units
MEO	Medium Earth Orbit
MIMO	Multiple-input Multiple-output
MN	Mobile Node
MIPv6	Mobile IPv6
MOS	Mean Opinion Score
MP	Multipoint Processors
MP-MLQ	Multipulse - Maximum Likelihood Quantization
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCM	Pulse Code Modulation

PQ	Priority Queuing
PSTN	Public Switched Telephone Network
QMF	Quadrature Mirror Filters
QoS	Quality of Service
RAS	Registration, Admission and Status
RCoA	Regional Care-of-Address
RED	Random Early Detection
RSVP	Resource Reservation Protocol)
RTCP	Real-Time Control Protocol
RTP	Real-Time Transport Protocol
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Multiple Division Multiple Access
TTL	Time To Live
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UDP	User Datagram Protocol
UWB	Ultra Wideband
VAD	Voice Activity Detection
VoIP	Voice over IP
WFQ	Weighted Fair Queuing
WiFi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network),
WPAN	Wireless Personal Area Network

WRED	Weighted Random Early Detection
xDSL	x Digital Subscriber Line
3GPP	Third Generation Partnership Project
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
ALL-IP	Todo IP
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ATA	Analog Telephone Adapter
CDMA	Code Division Multiple Access
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSP	Digital Signal Processing
EPS	Evolved Packet System
FDMA	Frecuency Division Multiple Access
GEO	Geostationary Earth Orbit
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System Mobile
HSPA	High Speed Packet Access
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISPN	Integrated Services Packet Network
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LEO	Low Earth Orbit
LIFI	Light Fidelity
LMDS	Local Multipoint <i>Distribution Services</i>
LPC	Linear Predictive Coding
LTE	Long Term Evolution
MC	Multipoint Controller

MCU	Multipoint Control Units
MEO	Medium Earth Orbit
MIMO	Multiple-input Multiple-output
MOS	Mean Opinion Score
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCM	Pulse Code Modulation
PSTN	Public Switched Telephone Network
QMF	Quadrature Mirror Filters
QoS	Quality of Service
RAS	Registration, Admission and Status
RSVP	Protocolo de Reserva de Recursos
RTCP	Real-Time Control Protocol
RTP	Time Transport Protocol
SC-FDMA	Single Carrier - <i>Frequency Division Multiple Access</i>
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SNMP	Simple Mail Transfer Protocol
TCP	Transmisión Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
UA	User Agent
UAC	UserAgentCliente
UAS	UserAgentServer
UDO	User Domain Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UWB	Ultra Wideband
VoIP	Voz sobre IP
WAP	Wireless Application Protocol
WI-FI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
xDSL	xDigital Subscriber Line