

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

INVESTIGACIÓN PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAESTRÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS CÓDECS DE VOZ PARA
COMUNICACIONES DE VOIP UTILIZANDO TELÉFONOS
INTELIGENTES - CASO DE ESTUDIO UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
CUENCA SEDE AZOGUES**

MARTÍN EDUARDO ORTEGA ORTEGA

QUITO – ECUADOR

Mayo - 2015

AUTORÍA

Yo, MARTÍN EDUARDO ORTEGA ORTEGA, portador de la cédula de ciudadanía No. 0301449450, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes.

MARTÍN EDUARDO ORTEGA ORTEGA

C.C.: 0301449450

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de investigación de manera especial a mi Padre Celestial, quien a través de su único hijo mi Señor Jesucristo, me regala su gran bendición todos los días y me permite alcanzar y cumplir este nuevo objetivo dándome la sabiduría, la inteligencia, la paciencia, la dedicación y fortaleza.

Dedico de igual manera también a toda mi familia, a mis padres: Marlene Ortega S. y Eduardo Ortega O., a mis hermanos: Jairo, Josué y Margoth Ortega O., a mi sobrina Doménica Amoroso O., por haberme dado la confianza, el apoyo, por guiarme con sus consejos haciendo de mí una persona de bien, ayudándome a no decaer y seguir adelante para llegar a alcanzar mis metas.

Extiendo está dedicatoria al Dr. Gustavo Chafra, director de mi tesis, quien con mucha paciencia y dedicación me fue orientando y guiando en todo el transcurso del desarrollo de ésta investigación.

De igual forma dedico a todas las personas y amigos quienes me supieron apoyar con sus conocimientos, ayuda y amistad para alcanzar este tan esperado anhelo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente y de manera especial a mi Padre Celestial, quien a través de su único hijo mi Señor Jesucristo, me regala la vida, la salud, su amor incondicional, el trabajo, mis estudios y por todas las bendiciones que derrama en mi familia y en mi persona.

Agradezco de igual manera también a toda mi familia, a mis padres: Marlene Ortega S. y Eduardo Ortega O., a mis hermanos: Jairo, Josué y Margoth Ortega O., a mi sobrina Doménica Amoroso O., por darme su apoyo incondicional, por haberme brindado su confianza, por guiarme con sus consejos haciendo de mí una persona de bien, dándome su mano para no decaer y seguir adelante para llegar a alcanzar mis metas.

Extiendo éste agradecimiento al Dr. Gustavo Chafla, director de mi tesis, quien con mucha paciencia y dedicación me fue orientando y guiando en todo el transcurso del desarrollo de ésta investigación. A los Ingenieros Francisco Balarezo y Carlos Egas por su gran colaboración y ayuda en la revisión de mi proyecto de investigación.

De igual forma agradezco a la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues, que por medio de sus autoridades me permitieron realizar en sus instalaciones mi proyecto de investigación.

Agradezco también a todas las personas y amigos quienes me supieron apoyar con sus conocimientos, ayuda y amistad para alcanzar este tan esperado anhelo.

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta un estudio comparativo de los códecs de voz para comunicaciones de VoIP en la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues, mediante la aplicación de diferentes escenarios reales de pruebas utilizando teléfonos móviles celulares inteligentes con cuentas SIP registradas en aplicaciones softphones y configuradas con la dirección IP interna del servidor de VoIP cuando la conexión sea a través de la red WLAN interna del campus universitario, o con la dirección IP pública de la institución, asignada por el proveedor de servicios de internet y datos CEDIA (Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado) cuando la conexión se la realiza desde una red WLAN externa y/o plan de servicios de internet y datos móviles 3G. Utilizando la infraestructura de red de VoIP existente en la institución educativa.

Esto permite determinar cuál es el códec de voz que se apegue más a las necesidades actuales requeridas en las comunicaciones de VoIP, con la finalidad de mantener una constante comunicación del personal que labora en ésta casa de estudios, mejorando la coordinación de las tareas dentro o fuera de la misma.

Con los resultados obtenidos de ésta investigación se pretende poder en un futuro reemplazar las centrales telefónicas aún existentes en ésta institución de estudios superiores, las cuales utilizan líneas ADSL de telefonía fija convencional para su salida. Permitiendo tener una alternativa a la comunicación de voz tradicional.

ABSTRACT

The current research presents a comparative study of voice codecs for VoIP communication at “Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues”, by applying different real test scenarios using smart phones with registered SIP accounts in softphones applications and configured with the internal IP address of VoIP server, when the connection is through the internal WLAN net from the university campus or with the public IP address from the institution which is provided by the CEDIA (Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado), when the connection is made from an external WLAN net and/or a plan of services of Internet and mobile data 3G, using the available equipment of the VoIP net which exists in the institution.

This allows determining which voice codec is closer to current needs required in VoIP communications, with the purpose of maintaining a constant communication of the staff working in this university, improving the coordination of work within or outside it.

With the results of this research is intended to be able in the future replace the still existing telephone exchanges in this institution of higher education which use ADSL lines of fixed telephony conventional for its departure, allowing to have an alternative to the traditional voice communication.

PRÓLOGO

El presente proyecto de investigación se basa en la infraestructura de red de comunicaciones actualmente existe en la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues. Donde se realiza el estudio comparativo de los códecs de voz para comunicaciones de VoIP, los cuales convierten una señal de audio analógica en un formato de audio digital para transmitirlo, luego decodificarlo y reproducirlo en el receptor. Y poder determinar cuál de los codificadores es el más apropiado para una comunicación de VoIP mediante teléfonos móviles celulares inteligentes.

Se puede encontrar en esta investigación la descripción de la red de VoIP actualmente implementada en el campus universitario además del fundamento teórico que respalda el presente estudio y los escenarios reales de pruebas propuestos para el análisis de los diferentes códecs de voz y sus resultados.

En estos escenarios de pruebas se consideran las conexiones para la red WLAN interna de la institución y para una red WLAN externa y/o plan de servicios de internet y datos móviles 3G.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
PRÓLOGO	VII
GLOSARIO	XXVIII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. ANTECEDENTES	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO 2	5
ESTADO DEL ARTE	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. DEFINICIÓN DE VOIP	6
2.3. ESTRUCTURA BÁSICA DE VOIP	6
2.4. PROTOCOLO SIP	7
2.4.1. Estructura del protocolo SIP	7
2.4.2. Establecimiento de una llamada de voz entre terminales SIP	8
2.5. CALIDAD DE SERVICIO (QOS) EN VOIP	10
2.5.1. El ancho de banda	10
2.5.2. Latencia.....	11
2.5.3. Jitter	11
2.5.4. Packet Loss.....	11
2.5.5. Eco	11
2.5.6. MOS	12
2.6. CABECERAS DE UNA TRAMA DE VOIP	12
2.7. ESTRUCTURA FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES	14
2.8. INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE COMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES	15
2.8.1. Administración del hardware y software de VoIP de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.....	15
2.8.2. Estructura de la red de comunicaciones de VoIP de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.....	16
2.8.3. Análisis general de las llamadas de VoIP en la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues	19

CAPÍTULO 3	22
CÓDECS DE VOZ PARA COMUNICACIONES DE VOIP	22
3.1. INTRODUCCIÓN	22
3.2. DEFINICIÓN DE CÓDEC	23
3.3. TIPOS DE ALGORITMOS DE COMPRESIÓN Y DESCOMPRESIÓN QUE UTILIZAN LOS CÓDECS DE VOZ	24
3.4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS CÓDEC DE VOZ PARA COMUNICACIONES DE VOIP	26
3.5. CÓDEC DE VOZ MÁS UTILIZADOS Y ESTANDARIZADOS POR LA ITU	28
3.5.1. Códec G.711	28
3.5.2. Códec G.721	29
3.5.3. Códec G.722	29
3.5.4. Códec G.723	30
3.5.5. Códec G.726	31
3.5.6. Códec G.727	31
3.5.7. Códec G.728	31
3.5.8. Códec G.729	31
3.6. CÓDECS DE VOZ CON DIFERENTES ESTÁNDARES	36
3.6.1. Códec AMR	36
3.6.2. Códec GSM	36
3.6.3. Códec Speex	37
3.6.4. Códec Opus	38
3.6.5. Códec iLBC	38
3.6.6. Códec SILK	38
3.6.7. Códec LPC 10	38
3.7. TAMAÑO DE LOS CÓDECS DE VOZ	42
3.8. DIFERENCIAS GENERALES ENTRE LOS CÓDECS DE VOZ	44
3.9. DESEMPEÑO DE LOS CÓDECS DE VOZ	45
3.10. COMO ELEGIR EL CÓDEC DE VOZ ADECUADO	46
CAPÍTULO 4	47
ANÁLISIS COMPARATIVO DE CÓDECS DE VOZ PARA COMUNICACIONES DE VOIP	47
4.1. INTRODUCCIÓN	47
4.2. EQUIPOS PARA LOS ESCENARIOS DE PRUEBA	48
4.3. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA RED DE PRUEBA	49
4.4. PRUEBAS REALIZADAS CON LOS CÓDECS DE VOZ	57
4.4.1. Escenario de prueba 1 (pruebas de laboratorio)	57
4.4.2. Escenario de prueba 2 (pruebas de campo)	58
4.5. LEVANTAMIENTO DEL ESCENARIO DE PRUEBA 1	58
4.5.1. Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	60
4.5.2. Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	77
4.5.3. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	83
4.5.4. Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	100

4.5.5.	Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	106
4.5.6.	Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	126
4.5.7.	Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular.....	132
4.5.8.	Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	151
4.6.	LEVANTAMIENTO DEL ESCENARIO DE PRUEBA 2	158
4.6.1.	Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones	160
4.6.2.	Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones ..	178
4.6.3.	Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo.....	183
4.6.4.	Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	201
4.6.5.	Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	206
4.6.6.	Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	224
4.6.7.	Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	229
4.6.8.	Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	248
4.7.	ANÁLISIS GENERAL COMPARATIVO DEL ESCENARIO DE PRUEBA 1 Y DEL ESCENARIO DE PRUEBA 2	253
4.8.	RESUMEN DE LAS COMPARACIONES CON LOS CÓDECS DE VOZ EN LAS LLAMADAS DE VOIP REALIZADAS.....	258
CAPÍTULO 5	260	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	260	
5.1. CONCLUSIONES	260	
5.2. RECOMENDACIONES.....	262	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	264	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Establecimiento de llamada con terminales SIP	9
Figura 2.2. Cabeceras de una trama de VoIP	12
Figura 2.3. Estructura general de la red de comunicaciones de VoIP. Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues	17

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Punto de equilibrio, QoS, CPU y ancho de banda utilizando códecs de voz.....	24
--	----

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Configuración de tarjetas de red en modo bridge	49
Figura 4.2a. Tarjeta de red alámbrica 1	49
Figura 4.2b. Tarjeta de red alámbrica 2	49
Figura 4.2c. Puente de red con dirección IP dinámica	50
Figura 4.3a. Configuración del teléfono GrandStream modelo GXP1405 de prueba con la VLAN 600	50
Figura 4.3b. Configuración del teléfono IP fijo GrandStream modelo GXP1405 de prueba con los códecs de voz	51
Figura 4.3c. Códecs de voz en el Gateway PSTN modelo GrandStream GXW4104 – 4 Port FXO.....	51
Figura 4.4a. Servidor DHCP levantado en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0	52
Figura 4.4b. Cuentas SIP-servidor de VoIP Elastix 2.3.0.....	52
Figura 4.5a. Descarga del códec de voz	53
Figura 4.5b. Ingreso a la configuración SIP	53
Figura 4.5c. Permisos de funcionamiento al códec de voz	53
Figura 4.6. Lista de códecs de voz habilitados vía consola SSH en el servidor VoIP Elastix 2.3.0	54
Figura 4.7. Códecs de voz que soporta el servidor de VoIP Elastix 2.3.0	55
Figura 4.8a. Registro de cuenta SIP en softphone Bria	55
Figura 4.8b. Registro de cuenta SIP en softphone CSipSimple.....	56
Figura 4.8c. Registro de cuenta SIP en softphone Zoiper	56
Figura 4.9. Esquema del escenario de prueba 1, para análisis de los códecs de voz	59
Figura 4.10a. Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones.....	60
Figura 4.10b. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.....	61
Figura 4.10c. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u	61
Figura 4.10d. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u	62
Figura 4.10e. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u	62
Figura 4.10f. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.....	62

Figura 4.11a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a.....	63
Figura 4.11b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a	64
Figura 4.11c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a.....	64
Figura 4.11d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a	64
Figura 4.11e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a.....	65
Figura 4.12a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM	65
Figura 4.12b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM.....	66
Figura 4.12c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM.....	66
Figura 4.12d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM.....	67
Figura 4.12e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM	67
Figura 4.13a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722.....	67
Figura 4.13b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722	68
Figura 4.13c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722	68
Figura 4.13d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722	69
Figura 4.13e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722.....	69
Figura 4.14a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729.....	69
Figura 4.14b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729	70
Figura 4.14c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729.....	70
Figura 4.14d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729	71
Figura 4.14e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729.....	71
Figura 4.15a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32	71
Figura 4.15b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32.....	72
Figura 4.15c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32.....	72
Figura 4.15d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32.....	73
Figura 4.15e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32	73

Figura 4.16a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark.....	73
Figura 4.16b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.....	74
Figura 4.16c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16	74
Figura 4.16d. RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.....	75
Figura 4.16e. Análisis del RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16	75
Figura 4.17a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33	75
Figura 4.17b. Ancho de banda de la llamada de VoIP. Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33.....	76
Figura 4.17c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33.....	76
Figura 4.17d. RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33	77
Figura 4.17e. Análisis del RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33	77
Figura 4.18a. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	84
Figura 4.18b. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo.....	84
Figura 4.18c. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo	85
Figura 4.18d. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo	85
Figura 4.18e. RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo	86
Figura 4.18f. Análisis del RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo.....	86
Figura 4.19a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo.....	86
Figura 4.19b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	87
Figura 4.19c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	87
Figura 4.19d. RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	88
Figura 4.19e. Análisis del RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo.....	88
Figura 4.20a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo	88
Figura 4.20b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo.....	89
Figura 4.20c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo.....	89
Figura 4.20d. RTP Streams-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo	90

Figura 4.20e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo.....	90
Figura 4.21a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo.....	90
Figura 4.21b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo.....	91
Figura 4.21c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo.....	91
Figura 4.21d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo.....	92
Figura 4.21e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo.....	92
Figura 4.22a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo.....	92
Figura 4.22b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo.....	93
Figura 4.22c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo.....	93
Figura 4.22d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo.....	94
Figura 4.22e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo.....	94
Figura 4.23a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	94
Figura 4.23b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	95
Figura 4.23c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	95
Figura 4.23d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	96
Figura 4.23e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	96
Figura 4.24a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo.....	96
Figura 4.24b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo.....	97
Figura 4.24c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo.....	97
Figura 4.24d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo.....	98
Figura 4.24e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo.....	98
Figura 4.25a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	98
Figura 4.25b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	99
Figura 4.25c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	99
Figura 4.25d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	100

Figura 4.25e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	100
Figura 4.26a. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.107	
Figura 4.26b. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN	108
Figura 4.26c. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN.....	108
Figura 4.26d. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN.....	109
Figura 4.26e. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN	109
Figura 4.26f. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN	109
Figura 4.27a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN	110
Figura 4.27b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN.....	111
Figura 4.27c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN.....	111
Figura 4.27d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN	111
Figura 4.27e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN	112
Figura 4.28a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN	112
Figura 4.28b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN	113
Figura 4.28c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN	113
Figura 4.28d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN.....	114
Figura 4.28e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN	114
Figura 4.29a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN	114
Figura 4.29b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN.....	115
Figura 4.29c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN.....	116
Figura 4.29d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN	116
Figura 4.29e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN	116
Figura 4.30a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN	117
Figura 4.30b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN.....	118
Figura 4.30c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN.....	118

Figura 4.30d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN	119
Figura 4.30e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN	119
Figura 4.31a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	119
Figura 4.31b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	120
Figura 4.31c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	121
Figura 4.31d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN.....	121
Figura 4.31e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	121
Figura 4.32a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	122
Figura 4.32b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	123
Figura 4.32c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	123
Figura 4.32d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN	123
Figura 4.32e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	124
Figura 4.33a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	124
Figura 4.33b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	125
Figura 4.33c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	125
Figura 4.33d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN.....	126
Figura 4.33e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	126
Figura 4.34a Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	133
Figura 4.34b. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular.....	134
Figura 4.34c. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular	134
Figura 4.34d. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular	135
Figura 4.34e. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular	135
Figura 4.34f. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular.....	135
Figura 4.35a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular.....	136
Figura 4.35b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular	137

Figura 4.35c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular	137
Figura 4.35d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular	137
Figura 4.35e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular	138
Figura 4.36a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular	138
Figura 4.36b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular.....	139
Figura 4.36c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular.....	139
Figura 4.36d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular	140
Figura 4.36e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular	140
Figura 4.37a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular.....	140
Figura 4.37b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular	141
Figura 4.37c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular	141
Figura 4.37d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular	142
Figura 4.37e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular	142
Figura 4.38a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular.....	142
Figura 4.38b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular	143
Figura 4.38c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular	143
Figura 4.38d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular	144
Figura 4.38e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular.....	144
Figura 4.39a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular	144
Figura 4.39b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular.....	145
Figura 4.39c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular.....	145
Figura 4.39d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular	146
Figura 4.39e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular.....	146
Figura 4.40a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	147
Figura 4.40b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	148

Figura 4.40c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	148
Figura 4.40d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular.....	148
Figura 4.40e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	149
Figura 4.41a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular	149
Figura 4.41b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular.....	150
Figura 4.41c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular.....	150
Figura 4.41d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular	151
Figura 4.41e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular.....	151
Figura 4.42. Esquema del escenario de prueba 2, para análisis de los códecs de voz	159
Figura 4.43a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u. Wireshark	160
Figura 4.43b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u	161
Figura 4.43c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.....	161
Figura 4.43d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u	162
Figura 4.43e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.....	162
Figura 4.44a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a.....	163
Figura 4.44b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a	163
Figura 4.44c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a.....	164
Figura 4.44d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a	164
Figura 4.44e Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a.....	164
Figura 4.45a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM	165
Figura 4.45b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM.....	166
Figura 4.45c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM.....	166
Figura 4.45d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM.....	166
Figura 4.45e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM	167
Figura 4.46a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722.....	167

Figura 4.46b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722	168
Figura 4.46c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722.....	168
Figura 4.46d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722	169
Figura 4.46e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722.....	169
Figura 4.47a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark	169
Figura 4.47b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729	170
Figura 4.47c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729.....	170
Figura 4.47d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729	171
Figura 4.47e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729.....	171
Figura 4.48a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32	171
Figura 4.48b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32.....	172
Figura 4.48c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32.....	172
Figura 4.48d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32	173
Figura 4.48e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32	173
Figura 4.49a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16	174
Figura 4.49b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.....	174
Figura 4.49c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16	175
Figura 4.49d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.....	175
Figura 4.49e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.....	175
Figura 4.50a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33	176
Figura 4.50b. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33.....	177
Figura 4.50c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33.....	177
Figura 4.50d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33.....	177
Figura 4.50e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33	178
Figura 4.51a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo.....	183

Figura 4.51b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo	184
Figura 4.51c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo	184
Figura 4.51d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo	185
Figura 4.51e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo	185
Figura 4.52a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	185
Figura 4.52b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	186
Figura 4.52c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	186
Figura 4.52d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	187
Figura 4.52e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo	187
Figura 4.53a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo	187
Figura 4.53b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo	188
Figura 4.53c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo	189
Figura 4.53d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo	189
Figura 4.53e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo	189
Figura 4.54a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo	190
Figura 4.54b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo	191
Figura 4.54c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo	191
Figura 4.54d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo	191
Figura 4.54e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo	192
Figura 4.55a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo	192
Figura 4.55b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo	193
Figura 4.55c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo	193
Figura 4.55d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo	194
Figura 4.55e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo	194
Figura 4.56a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo	194

Figura 4.56b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	195
Figura 4.56c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	196
Figura 4.56d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo	196
Figura 4.56e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo.....	196
Figura 4.57a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo	197
Figura 4.57b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo	198
Figura 4.57c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo	198
Figura 4.57d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo.....	198
Figura 4.57e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo	199
Figura 4.58a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo	199
Figura 4.58b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	200
Figura 4.58c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	200
Figura 4.58d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo	201
Figura 4.58e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo.....	201
Figura 4.59a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN	206
Figura 4.59b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN	207
Figura 4.59c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN.....	207
Figura 4.59d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN	208
Figura 4.59e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN	208
Figura 4.60a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN	208
Figura 4.60b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN	209
Figura 4.60c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN.....	209
Figura 4.60d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN	210
Figura 4.60e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN	210
Figura 4.61a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN.....	210

Figura 4.61b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN	211
Figura 4.61c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN	211
Figura 4.61d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN.....	212
Figura 4.61e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN	212
Figura 4.62a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN	212
Figura 4.62b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN	213
Figura 4.62c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y teléfono de la PSTN.....	214
Figura 4.62d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y teléfono de la PSTN	214
Figura 4.62e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y teléfono de la PSTN	214
Figura 4.63a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN	215
Figura 4.63b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN	216
Figura 4.63c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN.....	216
Figura 4.63d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN	216
Figura 4.63e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN	217
Figura 4.64a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	217
Figura 4.64b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	218
Figura 4.64c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	218
Figura 4.64d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN.....	219
Figura 4.64e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN	219
Figura 4.65a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	219
Figura 4.65b. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	220
Figura 4.65c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	220
Figura 4.65d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN	221
Figura 4.65e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN.....	221
Figura 4.66a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	222

Figura 4.66b. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	223
Figura 4.66c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	223
Figura 4.66d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN.....	223
Figura 4.66e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN	224
Figura 4.67a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular.....	230
Figura 4.67b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular	231
Figura 4.67c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular	231
Figura 4.67d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular	231
Figura 4.67e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular	232
Figura 4.68a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular.....	232
Figura 4.68b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular	233
Figura 4.68c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular	233
Figura 4.68d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular	234
Figura 4.68e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular.....	234
Figura 4.69a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular	234
Figura 4.69b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular	235
Figura 4.69c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular.....	235
Figura 4.69d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular	236
Figura 4.69e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular	236
Figura 4.70a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular.....	237
Figura 4.70b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular	238
Figura 4.70c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular	238
Figura 4.70d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular	238
Figura 4.70e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular.....	239
Figura 4.71a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular.....	239

Figura 4.71b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular	240
Figura 4.71c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular	240
Figura 4.71d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular	241
Figura 4.71e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular	241
Figura 4.72a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular	241
Figura 4.72b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular.....	242
Figura 4.72c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular.....	243
Figura 4.72d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular	243
Figura 4.72e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular.....	243
Figura 4.73a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	244
Figura 4.73b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	245
Figura 4.73c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	245
Figura 4.73d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular.....	245
Figura 4.73e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular	246
Figura 4.74a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular	246
Figura 4.74b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular.....	247
Figura 4.74c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular.....	247
Figura 4.74d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular	248
Figura 4.74e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular.....	248

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Mensajes de petición y respuesta SIP	9
Tabla 2.2. Respuesta a mensajes SIP	10
Tabla 2.3. Tamaño de cabeceras de una trama de VoIP.....	13
Tabla 2.4. Estructura física de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.....	14

Tabla 2.5. Volumen y tráfico estimado	21
Tabla 2.6. Costos en las llamadas telefónicas de la institución con líneas ADSL	21

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. MOS (Mean Opinion Score)	27
Tabla 3.2. Características principales de los códecs de voz estandarizados por la ITU	35
Tabla 3.3. Características principales de los códecs de voz con diferentes estándares	41
Tabla 3.4. Ancho de banda, frame size, tamaño y PPS-códecs de voz estandarizados por la ITU	43
Tabla 3.5. Ancho de banda, frame size, tamaño y PPS-códecs de voz con otros estándares.	44

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Recursos tecnológicos utilizados en los escenarios de pruebas	48
Tabla 4.2. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones.....	78
Tabla 4.3a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	80
Tabla 4.3b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	81
Tabla 4.3c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	81
Tabla 4.3d. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	82
Tabla 4.3e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	82
Tabla 4.3f. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones	83
Tabla 4.4. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	101
Tabla 4.5a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	103
Tabla 4.5b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo.....	104
Tabla 4.5c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	104
Tabla 4.5d. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	105
Tabla 4.5e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	105
Tabla 4.5f. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	106
Tabla 4.6. Resultados de las capturas de tramas RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	127
Tabla 4.7a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	129
Tabla 4.7b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	130
Tabla 4.7c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	130

Tabla 4.7d. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	131
Tabla 4.7e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	131
Tabla 4.7f. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	132
Tabla 4.8. Resultados de las capturas de tramas RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	152
Tabla 4.9a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos-Escenario de prueba 1.Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	154
Tabla 4.9b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	155
Tabla 4.9c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	155
Tabla 4.9d. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	156
Tabla 4.9e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	156
Tabla 4.9f. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	157
Tabla 4.10. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones.....	179
Tabla 4.11a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones	180
Tabla 4.11b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones	180
Tabla 4.11c. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones	181
Tabla 4.11d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones	181
Tabla 4.11e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones	182
Tabla 4.12. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	202
Tabla 4.13a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo.....	203
Tabla 4.13b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	203
Tabla 4.13c. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	204
Tabla 4.13d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	204
Tabla 4.13e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	205
Tabla 4.14. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	225
Tabla 4.15a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	226
Tabla 4.15b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	227

Tabla 4.15c. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	227
Tabla 4.15d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	228
Tabla 4.15e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	228
Tabla 4.16. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	249
Tabla 4.17a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular.....	250
Tabla 4.17b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	251
Tabla 4.17c. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	251
Tabla 4.17d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	252
Tabla 4.17e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	252
Tabla 4.18a. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre dos softphones...	254
Tabla 4.18b. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	255
Tabla 4.18c. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.....	256
Tabla 4.18d. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	257
Tabla 4.19a. Comparación de subescenarios de pruebas 1 y 2 con los códecs de voz	258
Tabla 4.19b. Comparación general de los escenarios de pruebas 1 y 2 con los códecs de voz	259

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO 2

Ecuación 2.1. Ancho de banda de una trama completa de VoIP	13
Ecuación 2.2. Volumen de tráfico	19
Ecuación 2.3. Tráfico ofrecido	20

CAPÍTULO 3

Ecuación 3.1. Cálculo del bit rate	26
Ecuación 3.2. Tamaño del códec de voz.....	42
Ecuación 3.3. PPS del códec de voz.....	42

GLOSARIO

ACELP: Algebraic Code-Excited Linear Prediction, predicción lineal con excitación por código algebraico

ADPCM: Adaptive Differential Pulse Code Modulation, modulación codificada mediante pulso diferencial adaptativo

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line, línea de abonado digital asimétrica

AMR: Adaptive Multi-Rate, multivelocidad adaptable

AMR-WB: Adaptive Multi-Rate Wideband Codec, multivelocidad adaptable con codificación de banda ancha

Bit Rate: Tasa de bits o datos procesados por unidad de tiempo

Call Agent: Agente de llamada, efectúa procesos de redirección, filtrado, almacenamiento de información, además de otras funciones

CEDIA: Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado

CELP: Code Excited Linear Prediction, predicción lineal con excitación por código

Codec: Codificador-decodificador de señales de voz

CS-ACELP: Conjugate Structure-ACELP, predicción lineal con excitación por código algebraico con estructura conjugada

DHCP: Tabla de enrutamiento que maneja el servidor de VoIP Elastix
2.3.0

Eco: Reflexión de la señal de voz original

Endpoints: Equipos terminales

Ethernet: Estándar de redes LAN

ETSI: European Telecommunications Standards Institute, Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones

Frame Size: Tiempo de envío entre paquetes de voz

Gatekeepers: Controlador de acceso

Gateway: Puerta de enlace

GSM: Global System for Mobile Communications, sistema global de comunicaciones móviles

IETF: Internet Engineering Task Force, Organización Internacional Abierta de Normalización

IP: Internet Protocol, protocolo de internet

ITU: International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones

IVR: Grabación de audio de bienvenida para las llamadas que ingresan en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0

Jitter: Tiempo que se tarda entre paquetes de voz hasta llegar al destino

LAN: Local Area Network, red de área local

Latencia: Retardos que se acumulan y que experimentan los paquetes de voz desde su origen hasta llegar al destino

LD-CELP: Low-Delay Code-Excited Linear Prediction, predicción lineal con excitación por código de bajo retardo

Location Server: Servidor de localización de usuarios SIP

LP: Linear Predictive, predicción lineal

LPC: Linear Predictive Coder, codificación predictiva lineal

LTP: Long Term Prediction, predicción extendida

MDCT: Modified Discrete Cosine Transform, transformada discreta de coseno codificado

MMUSIC: Multiparty Multimedia Session Control, grupo de trabajo del IETF

MOS: Mean Opinion Score, valor cualitativo de calidad general de una señal de voz

MP-MLQ: Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization, cuantificación de multipulso de máxima probabilidad

NAT: Network Address Translation, traducción de la dirección IP de red

Packet Loss: Pérdida de paquetes de voz

PCM: Pulse Codec Modulation, codificación mediante pulsos

PPS: Paquetes por segundo

Proxy Server: Servidor proxy, encamina peticiones y respuestas al equipo terminal destino

PSTN: Public Switched Telephony Network, red de telefonía pública conmutada

QoS: Calidad de servicio

Redirect Server: Servidor de redirección, informa la ubicación del equipo terminal destino

Register Server: Servidor de registro de usuarios SIP

RPE-LTP: Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction, predicción extendida con excitación de pulso regular

RTP: Real-time Transport Protocol, protocolo de transporte en tiempo real

Sampling Rate: Frecuencia de muestreo

SDP: Session Description Protocol, protocolo de descripción de sesión

SIP: Session Initiation Protocol, protocolo de inicialización de sesión de comunicación

SSH: Secure Shell, protocolo de redes informáticas, utilizado para intercambio de información de manera segura

UDP: User Datagram Protocol, protocolo de datagrama de usuario

VLAN: Virtual Local Area Network, red de área local virtual

VoIP: Voz sobre protocolos de internet

VSELP: Vector Sum Excitation Linear Prediction, predicción lineal con excitación por suma de vectores

WI-FI: Wireless Fidelity, fidelidad en sistemas informáticos de redes sin cables

WLAN: Wireless Local Area Network, red inalámbrica de área local

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta un estudio comparativo de los códecs de voz para comunicaciones de VoIP para determinar cuál de los codificadores es el más apropiado para una comunicación mediante teléfonos inteligentes y utilizando la infraestructura de la red existente de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.

El fin principal es dar un servicio de comunicación telefónica acorde a las necesidades actuales de la institución, manteniendo un constante acercamiento del personal que labora en la misma con cualquier extensión interna u operador de telefonía externa. Para ello en los teléfonos inteligentes se configurarán extensiones SIP (utilizando aplicaciones softphone) que a su vez estarán registrados en el Gateway de telefonía IP del Campus Universitario Luis Cordero El Grande. Los equipos terminales se conectarán a una red WLAN (con conexión WI-FI) o utilizando una red de telefonía móvil celular (plan de datos) de cualquier

operadora de telefonía móvil, los cuales estarán apuntando a la dirección IP pública de la institución en donde internamente actúa el firewall para la apertura de puertos UDP sobre la dirección IP privada del servidor de VoIP.

Se realizará un estudio comparativo de las características y procesamiento de los códecs, tipos de códecs, disponibilidad (libres de distribución o de pago), su consumo de ancho de banda, etc. Se analizará también el tráfico de llamadas, el consumo de ancho de banda, la calidad de servicio, el uso de recursos que maneja la red existente a través del Gateway de manera simultánea con el servidor de VoIP y los costos que se generan con el uso de la red actual.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las comunicaciones han evolucionado de manera emergente sobre todo en la parte de telefonía de VoIP, nos encontramos viviendo a su vez en la era de la tecnología y del internet. Podemos utilizarlos a nuestro favor para enfrentar este nuevo reto utilizando las redes existentes: intranet, internet, etc., para lograr una comunicación directa entre usuarios SIP sin tener la necesidad de utilizar códigos de áreas, región o país. En la institución se pretende tener un estudio y análisis del tráfico de llamadas, los recursos de red de telefonía IP utilizados, para poder en el futuro reemplazar las centrales telefónicas aún existentes las cuales utilizan líneas ADSL de telefonía fija convencional para su salida.

Los equipos terminales se conectarán a la red WLAN interna o red móvil celular, utilizando su infraestructura como un bridge logrando una conexión directa al firewall, de la institución, el mismo que se encargará de dar acceso a las conexiones SIP hacia el Gateway de telefonía y este a su vez hacia el servidor de VoIP, este servicio estará disponible para el personal administrativo y docente, teniendo en consideración las políticas institucionales, se podrá restringir el uso de esta aplicación por horarios.

La importancia de este proyecto se basa en la utilización de hardware y software disponibles para optimizar los recursos tecnológicos que actualmente existen en la institución, considerando que se está respondiendo a la necesidad de adaptarse a los nuevos sistemas de comunicación que emplean VoIP.

1.3. ANTECEDENTES

En la actualidad la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues dispone de una infraestructura de comunicaciones y cableado estructurado categoría 6A la misma que está protegida mediante el firewall de MikroTik, el cual se encarga de realizar la apertura de puertos, negación de servicios, control de ancho de banda por colas, NAT de toda la LAN, seguridad perimetral, control de tráfico, calidad de servicio, directivas de acceso externo, etc.

Dentro de la infraestructura se cuenta con equipos Switches CISCO administrables Layer 3, modelo CISCO Catalyst 2960-S series SI, los cuales se conectan a través de fibras ópticas: multimodo flexible y rígida OM3 (10, 100, 1000, 10000) a dos Switches principales, modelo CISCO Catalyst 3750 series, los mismos que se encargan de mantener la comunicación de todas las VLAN administradas y configuradas en el MikroTik.

Se cuenta con un Gateway marca GrandStream modelo GXW4104 analógico de cuatro líneas de las cuales están siendo utilizadas dos, el mismo que se conecta a un servidor Elastix en donde se encuentran las políticas de servicio para cada una de las cuentas SIP registradas, límite de tiempo, asignación de cuentas de usuario, servicios telefónicos, fax, servidor de correos, servidor de base de datos, servidor web, servicio de call center Elastix, recursos de red, registro de tráfico de llamadas, etc.

El servidor de telefonía IP posee 70 cuentas SIP asignadas a personal docente y administrativo de la institución, las mismas que utilizan equipos

terminales marca GrandStream, en su mayoría de dos líneas, que se conectan a través de la red LAN y pueden ser autenticados con la misma cuenta SIP en cualquier punto de red del campus universitario, sin la necesidad de estar dentro de una misma VLAN dedicada a VoIP.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Determinar, mediante un estudio comparativo el códec de voz más apropiado en comunicaciones de VoIP, para su utilización con teléfonos inteligentes que se registren en el servidor de telefonía IP de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte de la infraestructura de red de comunicaciones de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues
- Investigar el funcionamiento, características y tipos de códecs de voz para comunicaciones de VoIP
- Realizar un estudio comparativo (consumo de ancho de banda, procesamiento, disponibilidad de uso, etc.) de los códecs de voz para comunicaciones de VoIP
- Efectuar pruebas de funcionamiento con el códec más apropiado para la comunicación utilizando teléfonos inteligentes

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los servicios de voz sobre protocolos de internet llamados, VoIP (Voice Over Internet Protocol), han ido en aumento inducido por la mejora tecnológica en las redes de comunicaciones. Las empresas e instituciones han adoptado el servicio de VoIP para sus comunicaciones sean internas o externas. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015) (International Telecommunication Union, 2007); (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012)

2.2. DEFINICIÓN DE VOIP

En el año 2001 la ITU (International Telecommunication Union) emite un informe que diferencia el término, telefonía IP, como la voz basada en redes IP. En cambio al servicio de VoIP lo relaciona con los servicios de voz a través de redes IP y que compiten con los operadores tradicionales. (International Telecommunication Union, 2007)

2.3. ESTRUCTURA BÁSICA DE VOIP

La estructura de red básica de VoIP consta de tres elementos fundamentales:

- **Endpoints:** Equipos Terminales, son hardware y/o software como: teléfonos de la PSTN, teléfonos IP, aplicaciones softphones, etc., que permiten a los usuarios iniciar o finalizar una llamada. (Gutiérrez Gil, 2007)
- **Gateway:** Pasarela o puerta de enlace, son hardware y/o software convergentes que sirven de enlace o puente entre las redes de VoIP, redes PSTN y redes de telefonía móvil celular para establecer la comunicación de los usuarios. (Gutiérrez Gil, 2007)
- **Gatekeepers:** Controlador de acceso, son hardware y/o software que realizan operaciones de traducción de direcciones IP, señalización, administración de red, etc. (Gutiérrez Gil, 2007)

2.4. PROTOCOLO SIP

Session Initiation Protocol, protocolo de inicio de sesión, desarrollado por el grupo de trabajo MMUSIC (Multiparty Multimedia Session Control) del IETF (Internet Engineering Task Force), aprobada en el año 1999 en la recomendación RFC 2543 y actualizado en el año 2002 en la RFC 3261. Este protocolo permite a los usuarios intercambiar información multimedia. (Joskowicz, 2013); (Internet Engineering Task Force, 2015); (Moreno, Soto, & Larrabeiti, 2001)

2.4.1. Estructura del protocolo SIP

Tiene tres componentes principales:

- **Terminales SIP:** Son equipos terminales multimedia basados en protocolos IP para enlaces troncales, la llamada se finaliza a través del terminal origen o destino. (Joskowicz, 2013); (Moreno, Soto, & Larrabeiti, 2001)

- **Gateway SIP:** Permiten el intercambio de información (voz, video y datos) entre terminales SIP que se encuentren dentro de una misma red de comunicaciones o con equipos terminales con señalización diferente en redes externas. (Joskowicz, 2013)

- **Servidores SIP:** Se tienen los siguientes servidores (Joskowicz, 2013); (Moreno, Soto, & Larrabeiti, 2001):
 - **Proxy Server:** Servidor proxy, encamina peticiones y respuestas al destino final: No genera mensajes, Request. Trabaja únicamente con la cabecera del mensaje

- **Redirect Server:** Servidor de redirección, contesta con un mensaje de redirección al mensaje, Invite, informa la ubicación del destino

- **Register Server:** Servidor de registro de usuarios SIP, utiliza el mensaje, Register (Joskowicz, 2013)

- **Location Server:** Servidor de localización de usuarios SIP

- **Call Agent:** Agente de llamada, efectúa procesos de redirección, filtrado, almacenamiento de información, etc. (Moreno, Soto, & Larrabeiti, 2001)

2.4.2. Establecimiento de una llamada de voz entre terminales SIP

La llamada se establece de la siguiente manera (Joskowicz, 2013):

- 1) Terminal origen con dirección IP1 envía un mensaje, Invite, al terminal destino con dirección IP2

- 2) Terminal destino responde con un mensaje, Trying, y con un mensaje, Session Progress (habilita la conexión de audio desde el terminal destino al terminal origen) para remitir la señal de Ring Back (timbrado)

- 3) Terminal origen responde con un mensaje, Prack (ACK respuesta temporal)

- 4) Terminal destino responde con un mensaje, OK, con estructura SDP (Session Description Protocol). Se intercambia información de códecs y paquetes RTP
- 5) Finalmente se libera la llamada por medio del terminal origen o destino

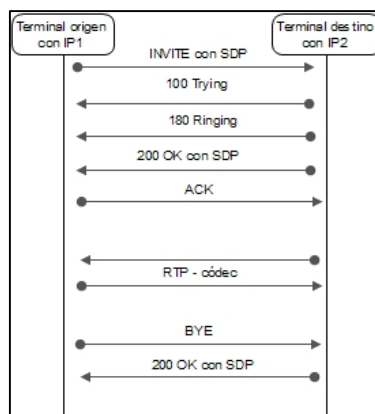


Figura 2.1. Establecimiento de llamada con terminales SIP.
Adaptado (Joskowicz, 2013)

El protocolo SIP posee mensajes de petición y respuesta que se indican en las tablas 2.1 y 2.2:

Mensajería SIP	Descripción
INVITE	Inicia petición de establecimiento de llamada
ACK	Responde al mensaje INVITE
OPTIONS	Consulta las capacidades de un servidor u otro cliente SIP
BYE	Confirma la finalización de una llamada
CANCEL	Cancela un requerimiento de llamada en proceso
REGISTER	Registra una cuenta o cliente SIP
SUBSCRIBE	Registra estadísticas de la cuenta SIP
NOTIFY	Indica estadísticas de la cuenta SIP
REFER	Notifica sobre transferencias de llamadas, códec utilizado, etc.
MESSAGE	Envía mensajes entre cuentas o clientes SIP
UPDATE	Modifica el estado de una sesión sin interrumpir la comunicación
INFO	Permite señalización extra
PRACK	Respuesta provisional ACK.

Tabla 2.1 Mensajes de petición y respuesta SIP. Adaptado (Gutiérrez Gil, 2007); (Joskowicz, 2013)

Tipo de mensaje	Descripción de respuestas
1xx	Informativas
2xx	Positivas
3xx	Redirección
4xx	Errores de redirección
5xx	Errores del servidor
6xx	Errores generales

Tabla 2.2. Respuesta a mensajes SIP. Adaptado (Gutiérrez Gil, 2007); (Joskowicz, 2013)

2.5. CALIDAD DE SERVICIO (QOS) EN VOIP

Permite garantizar el rendimiento en la transmisión de la información de voz, video y datos en redes internas o externas como: en la telefonía PSTN, en la red móvil celular, VoIP, etc., utilizando técnicas de tráfico inteligente, control del ancho de banda, aplicación de códecs, entre otras. La QoS en la comunicación es afectada por varios factores entre los más comunes se tiene: el ancho de banda, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes, el eco y el MOS. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (ElastixTech, QoS-calidad de servicio para VoIP, s.f.). Indicados a continuación:

2.5.1. El ancho de banda

Representa la cantidad de información que se transmite en un intervalo de tiempo. (Carballar Falcón, 2007); (ElastixTech, QoS-calidad de servicio para VoIP, s.f.)

2.5.2. Latencia

Son retardos acumulados que experimentan los paquetes desde su origen hasta llegar al destino (colas de espera o rutas diferentes). La latencia debe de tener valores menores a 150 ms como recomendado. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (ElastixTech, QoS-calidad de servicio para VoIP, s.f.)

2.5.3. Jitter

Es el tiempo que se tarda entre paquetes hasta llegar al destino, se da por el tráfico en la red, enrutamiento y sincronización. Los valores recomendados deben de ser menores a 100 ms. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (ElastixTech, QoS-calidad de servicio para VoIP, s.f.)

2.5.4. Packet Loss

Es la pérdida de paquetes, producida por: supresión, descarte de paquetes y por el tipo de red en la que viajan los mismos. La pérdida máxima recomendable es de 1 % para evitar la degradación de la voz. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (ElastixTech, QoS-calidad de servicio para VoIP, s.f.)

2.5.5. Eco

Es un reflejo de la señal de voz original transmitida, generado por los componentes electrónicos de los equipos. Es perceptible (oído humano) cuando

el retardo es superior a los 10 ms. (Carballar Falcón, 2007); (ElastixTech, QoS-calidad de servicio para VoIP, s.f.)

2.5.6. MOS

Mean Opinion Score. Es un valor cualitativo de opinión que proporciona la calidad general de la señal de voz. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2006)

2.6. CABECERAS DE UNA TRAMA DE VOIP

Las tramas de VoIP están constituidas por varias cabeceras como la Ethernet, IP, UDP, RTP y la carga útil correspondiente al códec manejado durante una llamada. Estas cabeceras sirven para el enrutamiento y como de relleno, añadiendo información extra a los paquetes de voz transmitidos, generando un aumento en el ancho de banda. (Joskowicz, 2013); (López Zambrano, 2014)

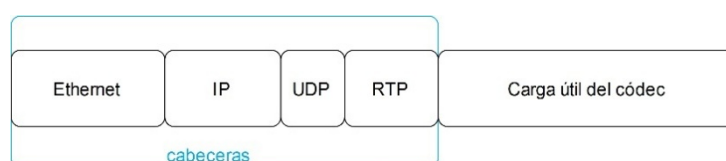


Figura 2.2. Cabeceras de una trama de VoIP. Adaptado (Joskowicz, 2013); (López Zambrano, 2014)

Los valores de las cabeceras son indicados en la tabla 2.3:

Cabecera	Tamaño (bytes)
códec utilizado	carga útil del códec
RTP	12
UDP	8
IP	20
Ethernet	26

Tabla 2.3. Tamaño de cabeceras de una trama de VoIP.
Adaptado (Joskowicz, 2013); (López Zambrano, 2014)

El ancho de banda de una trama completa de VoIP se calcula mediante la ecuación 2.1:

$$BW_{VoIP} = \frac{[Ethernet + (IP + UDP + RTP) + tamaño\ códec] * 1\ byte * PPS}{1000}$$

Ecuación 2.1. Ancho de banda de una trama completa de VoIP. Adaptado (Joskowicz, 2013); (López Zambrano, 2014)

Donde:

- *BW VoIP*: ancho de banda de la trama total de VoIP, medido en kbps
- *Ethernet*: cabecera Ethernet, medido en bytes
- *IP*: cabecera IP, medido en bytes
- *UDP*: cabecera UDP, medido en bytes
- *RTP*: cabecera RTP, medido en bytes
- *tamaño códec*: tamaño o carga útil del códec, medido en bytes
- *1 byte*: 8 bits

- PPS: paquetes por segundo

2.7. ESTRUCTURA FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES

El Campus Universitario Luis Codero “El Grande”, de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues, está constituido por varias unidades académicas distribuidas en bloques como se indica a continuación:

Bloque Sur-Edificio 1:	<ul style="list-style-type: none"> • Unidad Académica de Ciencias Educativas y de la Comunicación Social • Unidad Educativa Particular Humberto Vicuña Novillo
Bloque Sur-Edificio 2:	<ul style="list-style-type: none"> • Escuela de Educación Básica Particular Cesar Cordero Moscoso
Bloque Sur-Edificio 3:	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de Desarrollo Infantil
Bloque Central-Edificio 1:	<ul style="list-style-type: none"> • Paraninfo Marco Vicuña Novillo
Bloque Central-Edificio 2:	<ul style="list-style-type: none"> • Unidad Académica de Medicina y Ciencias de la Salud
Bloque Central-Edificio 3:	Planta Baja: <ul style="list-style-type: none"> • Unidad Académica de Ciencias Jurídicas, Políticas y Sociales • Unidad Académica de Economía
	Primera Planta: <ul style="list-style-type: none"> • Unidad Académica de Ciencias Administrativas y Empresariales
	Segunda Planta: <ul style="list-style-type: none"> • Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica • Centro de Datos
	Tercera Planta: <ul style="list-style-type: none"> • Unidad Académica de Arquitectura, Urbanismo e Ingeniería Civil
Bloque Central-Edificio 4:	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca • Sala de Maestrías
Bloque Noreste-Edificio 1:	<ul style="list-style-type: none"> • Unidad Académica de Odontología
Bloque Noreste-Edificio 2:	<ul style="list-style-type: none"> • Facultad de Ingeniería Civil
Bloque Norte	Planta Baja: <ul style="list-style-type: none"> • Oficinas Cubículos de Profesores • Departamento de Investigación y Documentación • Centro de Desarrollo de Software
	Primera Planta: <ul style="list-style-type: none"> • Oficinas Administrativas

Tabla 2.4. Estructura física de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues. Fuente el autor

2.8. INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE COMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES

La institución cuenta con diferentes equipos que conforman la red de comunicaciones o red LAN, los cuales se encuentran instalados en Racks de piso diseminados en el campus universitario. Estos Racks de piso se comunican entre sí, a través de fibra óptica multimodo flexible OM3 de 10 GB y distribuyen la conectividad a las diferentes estaciones de trabajo con cableado estructurado Ethernet categoría 6A.

2.8.1. Administración del hardware y software de VoIP de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues

La infraestructura de red de comunicaciones de VoIP de la institución es parte de la red de comunicaciones que ésta dispone. Está constituida de hardware y software administrables como: RouterBOARD 1100 MikroTik X2AH de 13 puertos de red Gigabit Ethernet y Switch de Core CISCO 3750 series de 12 puertos de red Gigabit Ethernet SFP ports.

Dentro de la configuración de estos equipos se encuentra segmentada la red en diferentes VLAN, una de ellas corresponde a la VLAN = 600, de telefonía IP a la cual está actualmente asignado 1 MB.

El MikroTik actúa como firewall en donde se establecen los diferentes tipos de reglas las cuales son ejecutadas de acuerdo al nivel de restricción y con sus respectivos privilegios. Es aquí donde en el apartado NAT se establecen dos reglas principales, para la redirección y apertura de puertos:

- **Regla 1:** Apertura de puertos 5060-5061 para el protocolo UDP, que sirve para registrar las conexiones con cuentas SIP externas las cuales acceden al servicio de VoIP desde el servidor Elastix 2.3.0.
- **Regla 2:** Apertura de rango de puertos del 10000-20000 para el protocolo UDP que sirve para establecer las comunicaciones internas y externas de las cuentas SIP, esclareciendo que ésta regla actúa de manera dinámica, donde al existir una llamada, el firewall asigna de manera aleatoria un número de puerto en este rango, tanto para la cuenta de origen como para la de destino logrando establecer la comunicación.

Estos equipos se encuentran en los edificios que conforman el campus universitario, en donde se conectan las diferentes estaciones de trabajo las cuales están distribuidas de acuerdo a las necesidades de la institución. La configuración de la red siempre está sujeta a cambios y/o actualizaciones como una política de seguridad en esta casa de estudios.

2.8.2. Estructura de la red de comunicaciones de VoIP de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues

La red de comunicaciones de VoIP forma una arquitectura de red centralizada con su nodo principal constituido por el servidor de VoIP (CPU con procesador Intel Xeon E31220 de 3.10 GHz y memoria RAM de 4GB SWAP) en el cual se encuentra levantado el software de VoIP Elastix 2.3.0 que maneja varios protocolos de comunicación de acuerdo a los requerimientos de la institución, en éste caso se utiliza el protocolo SIP. Mediante este protocolo todas las cuentas registradas se comunican de manera interna o externa.

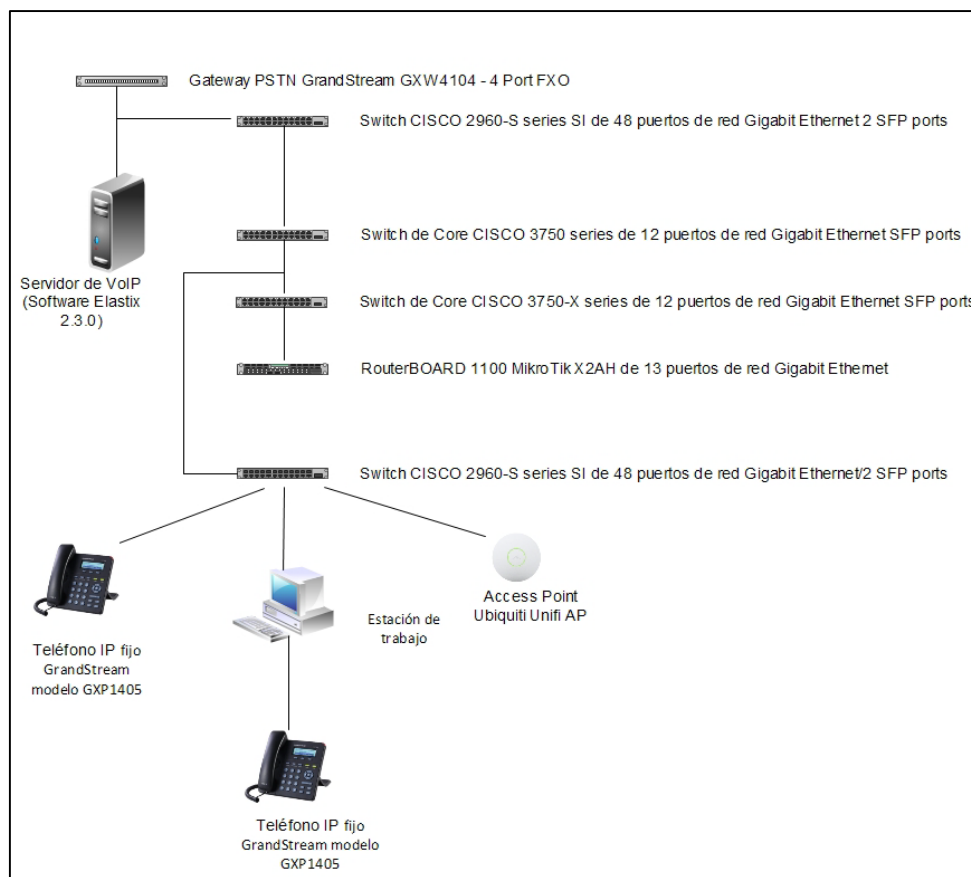


Figura 2.3. Estructura general de la red de comunicaciones de VoIP. Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.

Fuente el autor

Entre los parámetros básicos de la configuración del software Elastix se encuentran: las extensiones, configuración general, rutas salientes, troncales, rutas entrantes, IVR, servidor DHCP, etc.

- **Extensiones:** Es donde se encuentran registradas las cuentas SIP de los diferentes usuarios que tienen acceso al servicio de VoIP. Actualmente existen 97 extensiones las cuales varían de acuerdo a las necesidades de la institución.
- **Configuración general:** Se establece el límite de tiempo de manera general para las llamadas salientes de las cuentas SIP. Se puede además generar grupos de llamadas con tiempos asignados con

diferentes prioridades dependiendo del tipo de usuario al que está dirigida la cuenta SIP.

- **Rutas salientes:** De acuerdo a los requerimientos internos de las institución se puede establecer varias rutas salientes en donde en cada una se establece el, *dial patterns that will this router*, que representa el prefijo y patrón de comparación por las cuales actúan las líneas troncales, teniendo restricciones en las cuentas SIP, las cuales pueden tener ciertos privilegios como llamadas locales, llamadas nacionales o llamada a celulares.
- **Troncales:** De acuerdo al protocolo utilizado se configura el número de enlaces troncales necesarios. La entidad educativa cuenta con dos enlaces troncales ADSL, mediante el protocolo SIP de las cuentas registradas. Cada enlace troncal trabaja de manera paralela con el Gateway PSTN con su respectivo nombre de usuario y contraseña para la comunicación entre el Gateway PSTN y el servidor de VoIP.
- **Rutas entrantes:** Se pueden asignar el número de rutas según los requerimientos (para éste caso se dispone de una sola ruta). En donde de acuerdo a los parámetros de configuración se establece que la llamada entrante ingrese directamente a una extensión específica, al IVR o se redireccione a otra línea troncal.
- **IVR:** Es la grabación de audio de bienvenida para las llamadas que ingresan. Se establece además el número de extensión directa asignada dentro de la tabla del IVR.

- **Servidor DHCP:** Elastix al ser un software para VoIP, maneja su propia tabla de enrutamiento. Utiliza el servidor DHCP de manera independiente a la configuración del intranet.

Tanto el software Elastix instalado en el servidor de VoIP como los equipos terminales de marca GrandStream modelo GXP1405 se enlazan a través de los Racks de piso para establecer la comunicación entre ellos y realizar llamadas externas a través del Gateway PSTN.

2.8.3. Análisis general de las llamadas de VoIP en la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues

Cuando se presentó el anteproyecto de investigación se contaba con 70 extensiones SIP, actualmente se tienen un total de 97 extensiones (información recabada hasta el 20 de abril de 2015). Para la estimación del tráfico ofrecido en las llamadas de VoIP se considera éste valor, además del tiempo máximo de duración de la llamada que de acuerdo a las políticas internas de la institución es de 3 minutos y mediante la aplicación de las ecuaciones 2.2 y 2.3 se obtienen tanto el volumen y la intensidad de tráfico totales estimados.

$$V = \text{número de usuarios} * \text{número de llamadas por usuario} * \text{tiempo de la llamada}$$

Ecuación 2.2. Volumen de tráfico. Adaptado (Micolini, Herrera, & Sauchelli, 2015)

Donde:

- V: volumen de tráfico, medido en minutos

- *número de usuarios*: número de extensiones
- *número de llamadas por usuario*: cantidad de llamadas por usuario o extensión
- *tiempo de la llamada*: tiempo de duración de una llamada, medido en minutos por llamada

$$A = \frac{V}{T}$$

Ecuación 2.3. Tráfico ofrecido. Adaptado (Micolini, Herrera, & Sauchelli, 2015)

Donde:

- *A*: intensidad de tráfico, medido en Erlangs
- *V*: volumen de tráfico, medido en minutos
- *T*: intervalo de tiempo, medido en minutos (60 minutos)

En la tabla 2.5 se presentan resultados estimados para llamadas de VoIP de la institución, donde se observan que los valores de volumen y tráfico aumentan de manera proporcional al número de llamadas por usuario en una hora.

número de usuarios	número de llamadas por usuario	tiempo de la llamada (minutos por llamada)	intervalo de tiempo (minutos)	volumen de tráfico (minutos)	intensidad de tráfico (Erlangs)
97	1	3	60	291	4,85
97	2	3	60	582	9,7
97	3	3	60	873	14,55
97	4	3	60	1164	19,4
97	5	3	60	1455	24,25
97	6	3	60	1746	29,1
97	7	3	60	2037	33,95

Tabla 2.5. Volumen y tráfico estimado. Fuente el autor

Realizando un análisis general de costos (planillas de pago del servicio contratado a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT-EP) en las llamadas cuando se utilizan las dos líneas ADSL que maneja la institución para enlaces externos, independiente del número de llamadas realizadas (nacionales, regionales, locales o a celular), se determina que entre los meses de junio a septiembre de 2012 (sin tener la red de VoIP para llamadas internas) comparados con el mismo periodo de meses pero del año 2014 (con la red de VoIP ya existente para llamadas internas) los pagos en las planillas telefónicas son mayores en el periodo del año 2012 mencionado. Indicado en la tabla 2.6.

Líneas ADSL	Fecha de emisión	Pago del servicio (dólares)	Fecha de emisión	Pago del servicio (dólares)
07-2245205	03/10/2012	101,81	03/10/2014	19,47
07-2240975		37,51		39,20
07-2245205	03/09/2012	66,95	03/09/2014	13,53
07-2240975		22,81		45,60
07-2245205	03/08/2012	77,59	03/08/2014	13,57
07-2240975		27,54		48,33
07-2245205	03/07/2012	97,76	03/07/2014	13,64
07-2240975		30,15		41,54
		462,12		234,88

Tabla 2.6. Costos en las llamadas telefónicas de la institución con líneas ADSL. Fuente el autor

Mientras que las llamadas telefónicas internas utilizando las cuentas SIP a través de la red de VoIP existente en el campus universitario tienen costo cero.

CAPÍTULO 3

CÓDECS DE VOZ PARA COMUNICACIONES DE VOIP

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se fundamenta la base teoría de los códecs de voz usados para comunicaciones de VoIP, estudiando y diferenciando entre ellos sus características de funcionamiento, algoritmos de procesamiento, consumos de anchos de banda, aplicaciones de uso, sus estandarizaciones, análisis general para su elección, etc.

Esto permitirá realizar posteriormente en el capítulo 4 un análisis comparativo práctico de los mismos y verificar su comportamiento en las comunicaciones de VoIP aplicando diferentes escenarios reales de pruebas mediante la utilización de teléfonos móviles celulares inteligentes con cuentas SIP registradas en aplicaciones softphones y configuradas con la dirección IP interna del servidor de VoIP cuando la conexión sea por medio de la red WLAN interna (dentro del campus universitario) o con la dirección IP pública de la

institución asignada por el proveedor de servicios de internet y datos CEDIA (Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado) cuando la conexión se la realiza desde una red WLAN externa y/o plan de servicios de internet y datos móviles 3G.

De ésta manera se podrá determinar cuál es el códec de voz que se apegue más a las necesidades actuales requeridas en las comunicaciones de VoIP de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues con la finalidad de mantener una constante comunicación del personal que labora en la institución educativa mejorando la coordinación de las tareas dentro o fuera de la misma, utilizando los recursos tecnológicos existentes en el campus universitario.

Se pretende con los resultados de ésta investigación poder en un futuro reemplazar las centrales telefónicas aún existentes en éste centro educativo, las cuales utilizan líneas ADSL de telefonía fija convencional para su salida. Esto permitirá tener una alternativa a la comunicación de voz tradicional a pesar de las diferentes limitaciones existentes.

3.2. DEFINICIÓN DE CÓDEC

El termino códec es una abreviatura inglesa formada de las palabras coder (codificador) y decoder (decodificador) que representan algoritmos complejos de compresión y descompresión usados para el tratamiento de la información en donde la señal analógica de voz es previamente digitalizada, convertida y comprimida en datos discretos, para poder ser transmitida y reconstruida en el destino con el mismo proceso pero de forma inversa. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (ElastixTech, Codecs y formatos en telefonía IP, s.f.)

Los algoritmos utilizados por los códec de voz se basan en la utilización de recursos de procesamiento, ancho de banda y QoS en la comunicación

buscando un equilibrio entre eficiencia y calidad de la voz (ElastixTech, Codecs y formatos en telefonía IP, s.f.), considerando las características siguientes:

- Un algoritmo de alta compresión, produce buena calidad pero ocupa mayores recursos de procesamiento (ElastixTech, Codecs y formatos en telefonía IP, s.f.)
- Un algoritmo lineal mantiene la calidad pero ocupa mayor ancho de banda (ElastixTech, Codecs y formatos en telefonía IP, s.f.)
- Con un ancho de banda preciso y un algoritmo lineal, se baja la calidad (ElastixTech, Codecs y formatos en telefonía IP, s.f.)

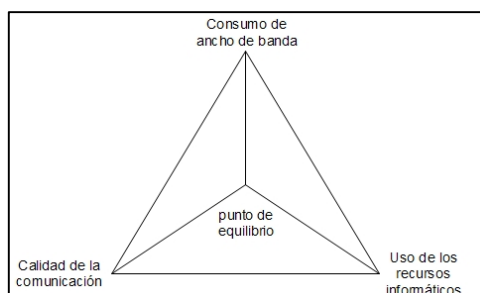


Figura 3.1. Punto de equilibrio, QoS, CPU y ancho de banda utilizando códecs de voz. Adaptado (ElastixTech, Codecs y formatos en telefonía IP, s.f.)

3.3. TIPOS DE ALGORITMOS DE COMPRESIÓN Y DESCOMPRESIÓN QUE UTILIZAN LOS CÓDECS DE VOZ

Los algoritmos de compresión y descompresión tienen como base la modulación codificada mediante pulsos (PCM) o sus derivaciones (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007), entre las más comunes se tiene:

- **PCM:** Pulse Code Modulation, modulación codificada mediante pulsos

- **ADPCM:** Adaptive Differential Pulse Code Modulation, modulación codificada mediante pulso diferencial adaptativo
- **MP-MLQ:** Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization, cuantificación de multipulso de máxima probabilidad
- **CELP:** Code Excited Linear Prediction, predicción lineal con excitación por código
- **ACELP:** Algebraic Code-Excited Linear Prediction, predicción lineal con excitación por código algebraico
- **LD-CELP:** Low-Delay Code-Excited Linear Prediction, predicción lineal con excitación por código de bajo retardo
- **CS-ACELP:** Conjugate Structure-ACELP, predicción lineal con excitación por código algebraico con estructura conjugada
- **AMR:** Adaptive Multi-Rate, multivelocidad adaptable
- **AMR-WB:** Adaptive Multi-Rate Wideband Codec, multivelocidad adaptable con codificación de banda ancha
- **LTP:** Long Term Prediction, predicción extendida
- **RPE-LTP:** Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction, predicción extendida con excitación de pulso regular
- **VSELP:** Vector Sum Excitation Linear Prediction, predicción lineal con excitación por suma de vectores

- **LPC:** Linear Predictive Coder, codificación predictiva lineal
- **LP:** Linear Predictive, predicción lineal
- **MDCT:** Modified Discrete Cosine Transform, transformada discreta de coseno codificado

3.4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS CÓDEC DE VOZ PARA COMUNICACIONES DE VOIP

Los códecs de voz para comunicaciones de VoIP cumplen con parámetros determinados como son los siguientes:

- **Bit Rate:** Representa el ancho de banda, es la tasa de bits procesados por unidad de tiempo, es cuanta información se envía por segundo. Se mejora la calidad del sonido con un alto bit rate. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012)

$$bit\ rate = \frac{tamaño\ de\ la\ muestra}{intervalo\ de\ la\ muestra}$$

Ecuación 3.1. Cálculo del bit rate. Adaptado (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012)

Donde:

- *bit rate:* ancho de banda, se mide en kbps
- *tamaño de la muestra:* cantidad de datos enviados por paquetes, se mide en bytes (1 byte = 8 bits)

- *intervalo de la muestra*: intervalo de tiempo, se mide en segundos
- **Sampling Rate**: Es el número de muestras que se transportan por unidad de tiempo o llamada también frecuencia de muestreo. Su unidad de medida es el Hertzio. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012)
- **Frame Size**: Informa el tiempo de envío entre paquetes de voz, se mide en milisegundos. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012)
- **MOS**: Mean Opinion Score, estandarizado por la ITU (International Telecommunication Union) en la Recomendación P.800 de la ITU-T. Es un valor cualitativo que proporciona la calidad general de la señal de voz (depende del códec utilizado). Puede ser cuantificado mediante una valoración numérica comprendida entre 1 como mínimo y 5 como máximo. Un valor de MOS mayor o igual a 4, en la práctica indica una alta calidad de voz. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2006)

Valoración cuantitativa	Valoración cualitativa	Observación
1	Mala	Distorsión muy molesta
2	Pobre	Distorsión molesta
3	Regular	Distorsión perceptible y ligeramente molesta
4	Buena	Nivel de distorsión perceptible pero no molesta
5	Excelente	Sin distorsión

Tabla 3.1. MOS (Mean Opinion Score). Adaptado (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2006)

3.5. CÓDEC DE VOZ MÁS UTILIZADOS Y ESTANDARIZADOS POR LA ITU

Existen varios códecs utilizados para la codificación y decodificación de la voz estandarizados por la ITU como se indica a continuación:

3.5.1. Códec G.711

Es un códec para audio estandarizado en 1988 en la recomendación ITU-T G.711, es el referente para los demás códec. Utiliza algoritmos PCM, maneja banda ancha, permite una buena calidad de voz (similar a la de la PSTN) con bajo procesamiento de recursos informáticos. Se aplica generalmente en ambientes donde el consumo de ancho de banda no es un inconveniente. Opera con un bit rate de 64 kbps. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Joskowicz, 2013); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Digital, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015); (España Boquera, 2003); (VoipForo, s.f.); (Agbinya, 2009); (López Chalacán, 2011)

Versiones del códec G.711:

- **Códec G.711 u-law:** Estándar T1 y J1 para Estados Unidos y Japón respectivamente. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Joskowicz, 2013); (Carballar Falcón, 2007)
- **Códec G.711 a-law:** Estándar E1 para Europa y el resto del mundo. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Joskowicz, 2013); (Carballar Falcón, 2007)
- **Códec G.711.1:** Estandarizado en 2012 (Recomendación ITU-T G.711.1) Es una extensión del códec G.711 y permita actuar con la infraestructura G.711 existente. Maneja un bit rate de entre 64, 80 y 96

Kbps. (Joskowicz, 2013); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (VoipForo, s.f.)

3.5.2. Códec G.721

Códec estandarizado en 1988 (Recomendación ITU-T G.721) contiene un algoritmo ADPCM, maneja un bit rate de 32 kbps. Fue remplazado por el códec G.726, ya no está en uso. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (VoipForo, s.f.); (Agbinya, 2009)

3.5.3. Códec G.722

Códec de audio estandarizado en 2012 (Recomendación de la ITU-T G.722) es de alta calidad similar al códec G.711 pero mejorado, maneja un bit rate de 48, 56 y 64 kbps. Posee algoritmos ADPCM y consume mayores recursos informáticos. Aplicado en redes LAN. (Joskowicz, 2013); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015); (España Boquera, 2003)

Versiones del códec G.722:

- **Códec G.722.1:** Fue estandarizado en 2005 (Recomendación ITU-T G.722.1), maneja un bit rate de 24 y 32 kbps, se aplica en sistemas de manos libres. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Joskowicz, 2013); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015)

- **Códec G.722.1 C:** Es una prolongación del códec G.722.1, maneja un bit rate de 32 kbps. (Voip-Info.org, 2003-2015)
- **Códec G.722.2-WB:** Estandarizado en 2003 (Recomendación ITU-T G.722.2) es un códec de banda ancha, posee un algoritmo AMR-WB, opera con un bit rate de 6.6 a 23.85 kbps. (Joskowicz, 2013); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Digital, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015)

3.5.4. Códec G.723

Es un códec de voz estandarizado en 1988 (Recomendación ITU-T G.723), es una prolongación del códec G.721, maneja un algoritmo ADPCM, utiliza un bit rate de 24 y 40 kbps. Fue reemplazado por el códec G.726, ya no está en uso. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015)

Versión del códec G.723:

- **Códec G.723.1:** Estandarizado en 2006 (Recomendación ITU-T G.723.1) es un códec de voz de alta calidad, trabaja con un ancho de banda bajo, maneja un bit rate de entre 5.3 y 6.3 kbps, utiliza algoritmos MP-MLQ y ACELP, se aplica en videoconferencia originalmente en la PSTN. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Joskowicz, 2013); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Digital, 2015)

3.5.5. Códec G.726

Estandarizado en 1990 (ITU-T G.726), basado en algoritmos ADPCM, que maneja un bit rate de 16, 24, 32 y 40 kbps, siendo el más utilizado el de 32 kbps. Se aplica en transmisión digital. Reemplazó a los códecs G.721 y G.723. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015)

3.5.6. Códec G.727

Es un códec de voz estandarizado en 1990 (Recomendación ITU-T G.727), utiliza algoritmos ADPCM, trabaja con un bit rate de 16, 24, 32 y 40 kbps, está relacionado con el códec G.726. (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015)

3.5.7. Códec G.728

Se trata de un códec de voz estandarizado en 2012 (Recomendación ITU-T G.728), utiliza algoritmos LD-CELP, maneja un bit rate de 16 kbps. Se aplica en videoconferencia. (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015)

3.5.8. Códec G.729

Estandarizado en 2012 (Recomendación ITU-T G.729), utiliza un bit rate de 8 kbps con un algoritmo CS-ACELP, maneja alta compresión disminuyendo el ancho de banda. Es apto para aplicaciones multimedia. (Guanga Vallejo &

León Noguera , 2012); (Joskowicz, 2013); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Digital, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015); (López Chalacán, 2011)

Versiones principales del G.729

- **G.729A:** Anexo del G.729 y compatible con el mismo, maneja menos recurso de procesamiento. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Carballar Falcón, 2007); (VoipForo, s.f.)
- **G.729B:** Anexo del códec G.729, utiliza supresión de silencios, no es compatible con el G.729 ni tampoco con el G.729A. (Carballar Falcón, 2007); (VoipForo, s.f.)
- **G.729AB:** Anexo del G.729, utiliza supresión de silencios, es compatible únicamente con G.729B. (VoipForo, s.f.)
- **G.729D:** Anexo del códec G.729, maneja un bit rate de 6.4 kbps. (Carballar Falcón, 2007); (VoipForo, s.f.)
- **G.729E:** Anexo del códec G.729, maneja un bit rate de 12.4 kbps. (Carballar Falcón, 2007); (VoipForo, s.f.)
- **G.729.1:** Estandarizado en 2006 (Recomendación ITU-T G.729.1) es un códec de velocidad binaria variable de 8 a 32 kbps, desarrollada para servicios multimedia. Es compatible con el G.729, G.729A y G.729B. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (VoipForo, s.f.)

A continuación se resumen las características más relevantes que manejan estos códecs de voz normalizados por la ITU, detallando los parámetros como: estandarización, algoritmo de compresión y descompresión de voz, el bit rate, sampling rate, el frame size, los comentarios y aplicaciones de cada uno de ellos.

códec	Estandarización	algoritmo de compresión-descompresión	Bit Rate (kbps)	Sampling Rate (kHz)	Frame Size (ms)	MOS	Comentarios y aplicaciones
G.711	Recomendación ITU-T G.711 en 1988	PCM	64	8	20	4.3	Códec de referencia, maneja banda ancha. Aplicado en ambientes donde el consumo de ancho de banda no es un inconveniente. Versiones: u-law y a-law
G.711.1	Recomendación ITU-T G.711.1 en 2012	PCM	64, 80 y 96	8	20	4.3	Maneja banda ancha. Extensión del G.711, mejorada
G.721	Recomendación ITU-T G.721 en 1988	ADPCM	32	8	20	4	Maneja un ancho de banda intermedio. No está en uso, reemplazado por G.726
G.722	Recomendación de la ITU-T G.722 en 2012	ADPCM	48, 56 y 64	16	20	4.5	Maneja banda ancha. Mejora del G.711, aplicado en redes LAN
G.722.1	Recomendación ITU-T G.722.1 en 2005	Codificación transformada	24 y 32	16	20	4.1	Maneja un ancho de banda intermedio. Aplicado para videoconferencia, posee una versión G.722.1 C
G.722.2-WB	Recomendación ITU-T G.722.2 en 2003	AMR-WB	6.6 a 23.85	16	20	4.5	Maneja un ancho de banda intermedio y banda ancha. Utilizado en aplicaciones multimedia
G.723	Recomendación ITU-T G.723 en 1988	ADPCM	24 y 40	8	30	3.8 a 4	Maneja un ancho de banda intermedio, ya no está en uso, reemplazada por el códec G.726

G.723.1	Recomendación ITU-T G.723.1 en 2006	MP-MLQ y ACELP	5.3 y 6.3	8	30	3.7 y 3.9	Maneja banda angosta. Aplicado originalmente para servicios multimedia de la PSTN
G.726	Recomendación ITU-T G.726 en 1990	ADPCM	16, 24, 32 y 40	8	20 ms para el G.726 de 24 y 32 kbps	4	Maneja un ancho de banda intermedio. Reemplaza a los códecs G.721 y G.723, aplicado en mayor número el G.726-32 para transmisiones digitales
G.727	Recomendación ITU-T G.727 en 1990	ADPCM	16, 24, 32 y 40	8	20 ms para el G.727 de 24 y 32 kbps	4	Maneja un ancho de banda intermedio. Relacionada con el códec G.726.
G.728	Recomendación ITU-T G.728 en 2012	LD-CELP	16	8	2.5	3.9	Maneja banda angosta. Aplicado en videoconferencia
G.729	Recomendación ITU-T G.729 en 2012	CS-ACELP	8	8	20	4	Maneja banda angosta. Utilizado en aplicaciones multimedia. Posee varias versiones: G.729A, B, AB, D, E
G.729.1	Recomendación ITU-T G.729.1 en 2006	CS-ACELP	8 a 32	8	20	4	Maneja un ancho de banda intermedio y banda angosta. Utilizado en aplicaciones multimedia, versión mejorada del G.729

Tabla 3.2. Características principales de los códecs de voz estandarizados por la ITU. Adaptado (Guanga Vallejo & León Noguera, 2012); (Joskowicz, 2013); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Digital, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015); (España Boquera, 2003); (VoipForo, s.f.); (Agbinya, 2009); (López Chalacán, 2011)

3.6. CÓDECS DE VOZ CON DIFERENTES ESTÁNDARES

Existen códecs con diferentes estándares que no están necesariamente normalizados por la ITU, como se mencionan a continuación:

3.6.1. Códec AMR

Es un códec de multivelocidad adaptable, definido en 2014 en el estándar TS 126 090 (3GPP TS 26.090 versión V12.0.0) de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), utiliza algoritmos AMR, trabaja con un bit rate de 4.75 a 12.2 kbps. Aplicado en redes de telefonía móvil celular GSM con características similares al códec G.729. (Joskowicz, 2013); (Voip-Info.org, 2003-2015); (European Telecommunications Standards Institute, 2015)

3.6.2. Códec GSM

Global System for Mobile Communications, sistema global de comunicaciones móviles, estandarizado por la ETSI. Utilizado en redes de telefonía móvil celular. (VoipForo, s.f.); (European Telecommunications Standards Institute, 2015)

Versiones principales del códec GSM

- **Códec GSM FR (Full Rate) o GSM 06.10:** Definido en 2000 en el estándar ETS 300 961 (GSM 06.10 versión 5.2.1) de la ETSI, utiliza algoritmos RPE-LTP, fue el primer códec de voz GSM. Maneja un bit rate de 13 kbps. (Digital, 2015); (López Chalacán, 2011); (European Telecommunications Standards Institute, 2015); (Radio-Electronics.com, s.f.)

- **Códec GSM-EFR (Enhanced Full Rate) o GSM 06.60:** Definido 1999 en el estándar ETS 300 726 (GSM 06.60 versión 5.2.1) de la ETSI, es una mejorado del GSM FR, maneja algoritmos ACELP, trabaja con un bit rate de 12.2 kbps. (Carballar Falcón, 2007); (European Telecommunications Standards Institute, 2015)
- **Códec GSM-HR (Half Rate) o GSM 06.20:** Definido en el 2000 en el estándar EN 300 969 (GSM 06.20 versión v8.0.1) de la ETSI, utiliza un algoritmo VSELP, trabaja con un bit rate de 5.6 kbps. (European Telecommunications Standards Institute, 2015); (Radio-Electronics.com, s.f.)
- **Códec GSM AMR o GSM 06.90:** Es un códec de voz de multivelocidad adaptativa GSM, definido en el 2000 en el estándar EN 301 704 (GSM 06.90 versión V7.2.1) de la ETSI, se aplica en telefonía móvil celular 3G, soporta un bit rate desde 4.75 a 12.2 kbps, utiliza un algoritmo AMR. (Carballar Falcón, 2007); (European Telecommunications Standards Institute, 2015); (Radio-Electronics.com, s.f.)

3.6.3. Códec Speex

Es un códec de audio de código abierto, es parte del grupo GNU Project con licencia BSD (Berkeley Software Distribution), definido en el 2009 en el estándar RFC 5574 de la IETF (Internet Engineering Task Force), maneja algoritmos CELP, trabaja con un bit rate variable desde 2.15 hasta 44 kbps, utilizado para comunicaciones VoIP, actualmente es reemplazado por el códec Opus. (Internet Engineering Task Force, 2015); (Digital, 2015); (Speex, 1994-2006)

3.6.4. Códec Opus

Es un códec de audio de código abierto bajo licencia BSD, definido en el 2012 en el estándar RFC 6716 de la IETF, trabaja con algoritmos LP y MDCT, se utiliza para voz, música a través de internet, streaming, etc. Maneja un bit rate de 6 a 510 kbps. (Internet Engineering Task Force, 2015); (Speex, 1994-2006); (Xiph.org, 1994-2013)

3.6.5. Códec iLBC

Internet Low Bit Rate Codec, es un códec de voz de código abierto, desarrollado por Global IP Sound (GIPS), especificado en el 2004 en el estándar RFC 3951, en fase experimental en la IETF, maneja un algoritmo LPC, se aplica en VoIP, es robusto ante pérdida de paquetes de voz, trabaja con un bit rate de 13.33 y 15.2 kbps, trabaja con un frame size de 20 a 30 ms. (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Internet Engineering Task Force, 2015); (Digital, 2015)

3.6.6. Códec SILK

Este códec es desarrollado para videoconferencia por Skype, trabaja con algoritmos LPC y LTP, maneja un bit rate de 6 a 40 kbps, busca ser estandarizado. (Network Working Group, 2010)

3.6.7. Códec LPC 10

Es un códec de voz basado en algoritmos LPC con índice 10 de compresión. Estandarizado en 1984 por el gobierno de los Estados Unidos de

América, en el FED-STD-1015, trabaja con un bit rate de 2.4 kbps. (Digital, 2015); (VoipForo, s.f.); (IHS Engineering360, 2015)

A continuación se resumen las características más relevantes que manejan estos códecs de voz con estándares diferentes a los manejados por la ITU, detallando los parámetros como: estandarización, algoritmo de compresión y descompresión de voz, el bit rate, sampling rate, el frame size, los comentarios y aplicaciones de cada uno de ellos.

códec	Estandarización	algoritmo de compresión-descompresión	Bit Rate (kbps)	Sampling Rate (kHz)	Frame Size (ms)	MOS	Comentarios y aplicaciones
AMR	Estándar ETSI: TS 126 090 (3GPP TS 26.090 versión V12.0.0) en 2014	AMR	4.75 a 12.2	8	20	4.5	Aplicado en redes de telefonía móvil celular GSM, con características similares al códec G.729, maneja banda angosta
GSM-FR o GSM 06.10	Estándar ETSI: ETS 300 961 (GSM 06.10 versión 5.2.1) en 2000	RPE-LTP	13	8	20	3.5	Usado para telefonía móvil celular GSM, maneja banda angosta
GSM-AMR	Estándar ETSI: EN 301 704 (GSM 06.90 versión V7.2.1) en 2000	AMR	4.75 a 12.2	8	20	4	Se aplica en telefonía móvil celular GSM 3G, maneja banda angosta
Speex	Estándar IETF: RFC 5574 en 2009	CELP	2.15 a 44	8, 16, 32	20	3.78	Utilizado para comunicaciones VoIP. Actualmente es reemplazado por el códec Opus, maneja banda angosta e intermedia
OPUS	Estándar IETF: RFC 6716 en 2012	LP y MDCT	6 a 510	8 a 48	2.5 a 60	Mayor a 4	Se utiliza para voz, música a través de internet, streaming, etc. Maneja diferentes anchos de banda
iLBC	En fase experimental en la IETF disponible en el RFC 3951 en 2004	LPC	13.33 y 15.2	8	30 ms para el iLBC de 13.33 kbps 20 ms para el iLBC de 15.2 kbps	3.74 a 4.14	Robusto ante pérdida de paquetes de voz, se aplica en comunicaciones de VoIP, maneja banda angosta

SILK	Skype, busca ser estandarizado	LPC y LTP	6 a 40	8 a 24	20	Aplicado en videoconferencia, maneja banda angosta e intermedia
LPC 10	Estandarizado por el gobierno de los USA: FED-STD-1015 en 1984	LPC con índice 10 de compresión	2.4	8	22.5	Utilizado por el gobierno de los USA, maneja banda angosta

Tabla 3.3. Características principales de los códecs de voz con diferentes estándares. Adaptado (Guanga Vallejo & León Noguera , 2012); (Joskowicz, 2013); (Internet Engineering Task Force, 2015); (Carballar Falcón, 2007); (Digital, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015); (VoipForo, s.f.); (López Chalacán, 2011); (European Telecommunications Standards Institute, 2015); (Radio-Electronics.com, s.f.); (Speex, 1994-2006); (Xiph.org, 1994-2013); (Network Working Group, 2010); (IHS Engineering360, 2015)

3.7. TAMAÑO DE LOS CÓDECS DE VOZ

El tamaño de los códecs de voz está relacionado con su ancho de banda, además del frame size que utilice el códec para la comunicación de VoIP. (Carballar Falcón, 2007); (ElastixTech, QoS-calidad de servicio para VoIP, s.f.)

El tamaño de los códecs de voz se calcula con la ecuación 3.2 y el PPS (paquetes por segundo) con la ecuación 3.3:

$$\text{tamaño códec} = \frac{\text{bit rate} * \text{frame size}}{8 \text{ (bits)}}$$

Ecuación 3.2. Tamaño del códec de voz. Adaptado (Joskowicz, 2013); (López Zambrano, 2014)

Donde:

- *tamaño códec*: tamaño o carga útil del códec, medido en bytes
- *bit rate*: ancho de banda, medido en kbps (refiérase a las tablas 3.2 y 3.3)
- *frame size*: tiempo de envío entre paquetes de voz o periodo de paquetización, medido en milisegundos (refiérase a las tablas 3.2 y 3.3)

$$PPS = \frac{1}{\text{frame size}}$$

Ecuación 3.3. PPS del códec de voz. Adaptado (Joskowicz, 2013); (López Zambrano, 2014)

Donde:

- *PPS*: paquetes por segundo
- *frame size*: tiempo de envío entre paquetes de voz o periodo de paquetización, medido en milisegundos (refiérase a las tablas 3.2 y 3.3)

Aplicando las ecuaciones 3.2 y 3.3 (con valores de las tablas 3.2 y 3.3) se obtienen las tablas 3.4 y 3.5:

códec	Bit Rate (kbps)	Frame Size (ms)	tamaño códec (bytes)	PPS
G.711	64	20	160	50
G.711.1	64, 80 y 96	20	160, 200 y 240	50
G.721	32	20	80	50
G.722	48, 56 y 64	20	120, 140 y 160	50
G.722.1	24 y 32	20	60 y 80	50
G.722.2-WB	6.6 a 23.85	20	17 a 60	50
G.723	24 y 40	30	90 y 150	33.33
G.723.1	5.3 y 6.3	30	20 y 24	33.33
G.726	16, 24, 32 y 40	20 ms para el G.726 de 24 y 32 kbps	60 y 80 bytes para el G.726 de 24 y 32 kbps respectivamente	50 PPS para el G.726 de 24 y 32 kbps respectivamente
G.727	16, 24, 32 y 40	20 ms para el G.727 de 24 y 32 kbps	60 y 80 bytes para el G.727 de 24 y 32 kbps respectivamente	50 PPS para el G.727 de 24 y 32 kbps respectivamente
G.728	16	2.5	5	400
G.729	8	20	20	50
G.729.1	8 a 32	20	20 a 80	50

Tabla 3.4. Ancho de banda, frame size, tamaño y PPS-códecs de voz estandarizados por la ITU. Adaptado (Guanga Vallejo & León Noguera, 2012); (Joskowicz, 2013); (Carballar Falcón, 2007); (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015); (Digital, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015); (España Boquera, 2003); (VoipForo, s.f.); (Agbinya, 2009); (López Chalacán, 2011); (López Zambrano, 2014)

códec	Bit Rate (kbps)	Frame Size (ms)	tamaño códec (bytes)	PPS
AMR	4.75, a 12.2	20	12 a 31	50
GSM-FR o GSM 06.10	13	20	33	50
GSM-AMR	4.75 a 12.2	20	12 a 31	50
Speex	2.15 a 44	20	6 a 110	50
OPUS	6 a 510	2.5 a 60	2 a 160 bytes para 2.5 ms 45 a 3825 bytes para 60 ms	400 a 16.66
iLBC	13.33 y 15.2	30 ms para el iLBC de 13.33 kbps 20 ms para el iLBC de 15.2 kbps	50 bytes para el iLBC de 13.33 kbps 38 bytes para el iLBC de 15.2 kbps	33.33 PPS para el iLBC de 13.33 kbps 50 PPS para el iLBC de 15.2 kbps
SILK	6 a 40	20	15 a 100	50
LPC 10	2.4	22.5	7	44.44

Tabla 3.5. Ancho de banda, frame size, tamaño y PPS-códecs de voz con otros estándares. Adaptado (Guanga Vallejo & León Noguera, 2012); (Joskowicz, 2013); (Internet Engineering Task Force, 2015); (Carballar Falcón, 2007); (Digital, 2015); (Voip-Info.org, 2003-2015); (VoipForo, s.f.); (López Chalacán, 2011); (European Telecommunications Standards Institute, 2015); (Radio-Electronics.com, s.f.); (Speex, 1994-2006); (Xiph.org, 1994-2013); (Network Working Group, 2010); (IHS Engineering360, 2015); (López Zambrano, 2014)

3.8. DIFERENCIAS GENERALES ENTRE LOS CÓDECS DE VOZ

Entre las diferencias más sobresalientes de los códecs de voz se tiene el ancho de banda segmentado en: banda ancha, intermedia o banda angosta con valores referenciales de 64, 32 y 8 kbps respectivamente y del parámetro del MOS, el cual si tiene un valor cuantitativo de 4 o mayor, en la práctica indica una alta calidad de voz. Estas características son un buen referente al momento de elegir los códecs de voz.

Es claro que en el caso de ser el ancho de banda prioritario en una institución o empresa se opta por configurar en los equipos que conforman la red de VoIP los códecs de banda angosta como: el G.729, iLBC, GSM, entre otros y

banda intermedia como el G.726, G.727, etc., pero teniendo en cuenta que éstos utilizan mayores recursos informáticos y algoritmos más complejos para la compresión de la voz.

Por otro lado si el ancho de banda no es un problema se utilizan códecs de voz como: el G.711, G.722 y sus diferentes versiones teniendo en cuenta que estos son más utilizados en redes de VoIP con conexiones alámbricas caso contrario a lo que sucede en conexiones inalámbricas en los cuales sobresalen los códecs de banda angosta o intermedia que garantizan de igual manera la calidad en la comunicación a pesar de estar expuestas a mayores pérdidas que las experimentadas en las conexiones físicas.

3.9. DESEMPEÑO DE LOS CÓDECS DE VOZ

El desempeño de los códecs de voz dependerá de sus propiedades técnicas de diseño como: bit rate, periodo de paquetización, frecuencia de muestreo, de su tamaño, del MOS, además de los factores como: QoS que ofrece la red en la cual se transmitan los datos (red interna o externa), de la cantidad de ancho de banda que se disponga, de los recursos tecnológicos utilizables, de las aplicaciones en las cuales se vaya a implementar, etc., pero buscando siempre un punto de equilibrio entre eficiencia y calidad de la voz siendo esto corroborado por diferentes estudios realizados en los cuales se orienta de manera específica a determinadas aplicaciones basadas en comunicaciones de VoIP utilizando los códecs de voz.

Existen aplicaciones en el mercado mundial las cuales ofrecen el servicio de comunicación de VoIP y que utilizan diferentes códecs de voz sean mediante pago o gratuitos, de banda ancha o angosta, de código abierto o estandarizados, de acuerdo a sus requerimientos y con diferentes tipos de enlaces, inclusive con conexión a sus propios servidores. Sin considerar cuál sea la tendencia o la manera de enlazare, las comunicaciones de VoIP, son actualmente una buena

opción con respecto a los sistemas convencionales utilizados para la comunicación de voz.

3.10. COMO ELEGIR EL CÓDEC DE VOZ ADECUADO

Si bien es cierto que todos los códecs de voz buscan ofrecer una mejor calidad en la comunicación cercana a la que maneja la PSTN la cual está basada en el códec G.711 y que es un referente para los demás códecs, no se puede establecer un único códec de voz como definitivo para las comunicaciones de VoIP pero se puede tener en consideración por lo menos sus propiedades en ancho de banda y MOS para su elección en una aplicación determinada, que es lo que se ha tenido en cuenta en ésta investigación.

Cada vez los códecs de voz muestran mejoras en sus características funcionales y de calidad o se presentan nuevas alternativas, dando varias opciones a la hora de elegirlos.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CÓDECS DE VOZ PARA COMUNICACIONES DE VOIP

4.1. INTRODUCCIÓN

Los puertos de los switches en los cuales se encuentran conectados los teléfonos IP fijos, están en modo de acceso tanto para la VLAN 500 de datos como para la VLAN 600 de voz, de esta manera todos los teléfonos IP fijos heredan la configuración del servidor Elastix 2.3.0 (IP: 172.16.20.1) en donde se encuentra levantado el servidor de DHCP para la VLAN de voz, igualmente todos los teléfonos se encuentran conectados en un mismo segmento de red, logrando de esta manera aprovechar los recursos tecnológicos y optimizando los enlaces troncales del servidor Elastix a la PSTN.

4.2. EQUIPOS PARA LOS ESCENARIOS DE PRUEBA

Se manejaron varios equipos ya existentes e implementados en la institución, los cuales se necesitaron configurar de acuerdo a los escenarios de pruebas propuestos y utilizando la red de VoIP existente en la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.

Equipos	Comentarios
Servidor de VoIP mediante software Elastix 2.3.0	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta (Centro de Datos)
Router CISCO 2900 series	(CEDIA-TELCONET) Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta Rack 1 (Centro de Datos)
RouterBOARD 1100 MikroTik X2AH de 13 puertos de red Gigabit Ethernet	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta Rack 1 (Centro de Datos)
Switch de Core CISCO 3750-X series de 12 puertos de red Gigabit Ethernet SFP ports	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta Rack 1 (Centro de Datos)
Switch de Core CISCO 3750 series de 12 puertos de red Gigabit Ethernet SFP ports	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta Rack 1 (Centro de Datos)
Switch CISCO 2960-S series SI de 48 puertos de red Gigabit Ethernet/2SFP ports	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta Rack 1 (Centro de Datos)
Teléfonos IP GrandStream GXP1405 Fast Ethernet	Implementados en el campus universitario
Computador, CPU Clon para monitoreo con procesador Core 2 Duo de 2.4 GHZ, con 2 GB de memoria RAM y sistema operativo Windows 7 de 32 bits	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta (Centro de Datos)
Laptop Toshiba para monitoreo remoto con procesador Core i7 de 2.2 GHZ, con 8 GB de memoria RAM y sistema operativo Windows 7 de 64 bits	Computador portátil
Softphones	Bria, CSipSimple, Zoiper
Teléfonos móviles celulares inteligentes	Samsung S5 con sistema operativo Android, HTC One M7 con sistema operativo Android y BlackBerry Bold2 con sistema operativo Blackberry
Switch D-Link de 8 puertos de red Ethernet 10/100	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta (Centro de Datos)
Wireless Router D-Link de 4 puertos de red Ethernet 10/100	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta (Centro de Datos)
Gateway PSTN GrandStream GXW4104 – 4 Port FXO	Bloque Central-Edificio3: Segunda Planta Rack 1 (Centro de Datos)
Red WLAN	Tecnología de malla Unifi-AP LR UAP implementado en el campus universitario
Red LAN	Cableado estructurado Ethernet categoría 6A (10 GB) implementado en el campus universitario

Tabla 4.1. Recursos tecnológicos utilizados en los escenarios de pruebas. Fuente el autor

4.3. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA RED DE PRUEBA

Se pone en modo bridge las dos tarjetas alámbricas de la PC de monitoreo, para que todo el tráfico generado en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0, pase por la PC de monitoreo y ésta a su vez capture el tráfico del servidor DHCP en la VLAN 600 de telefonía IP.



Figura 4.1. Configuración de tarjetas de red en modo bridge. Captura de pantalla-Fuente el autor

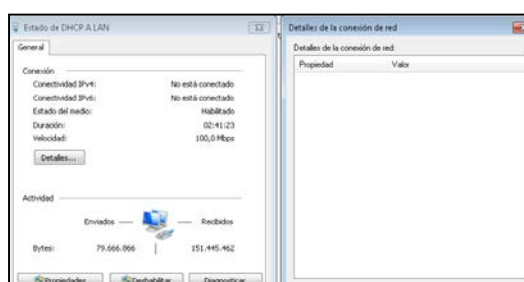


Figura 4.2a. Tarjeta de red alámbrica 1. Captura de pantalla-Fuente el autor

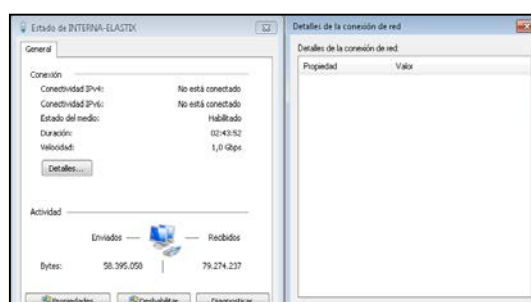


Figura 4.2b. Tarjeta de red alámbrica 2. Captura de pantalla-Fuente el autor

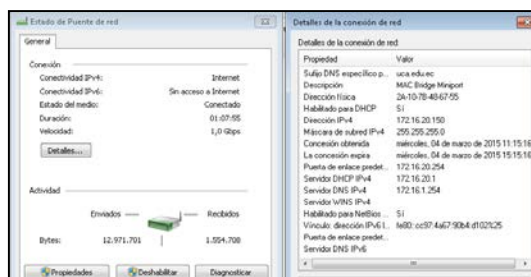


Figura 4.2c. Puente de red con dirección IP dinámica.
Captura de pantalla-Fuente el autor

Se configuran los equipos terminales de telefonía IP GrandStream modelo GXP1405 y del Gateway PSTN modelo GrandStream GXW4104 – 4 Port FXO (configuración predeterminada por el administrador de red). Se establece un teléfono IP de prueba (asignado por el administrador de red) con extensión 2600 para que se encuentre en la red de VoIP existente, donde se agrega una cuenta con los parámetros necesarios: Nombre de cuenta, la dirección IP del servidor, número de extensión con su respectiva contraseña, adicionalmente se agrega dentro de la pestaña de configuraciones avanzadas el QoS Layer 2 = 600 que es la que corresponde a la VLAN de voz. Indicado en la figura 4.3a.

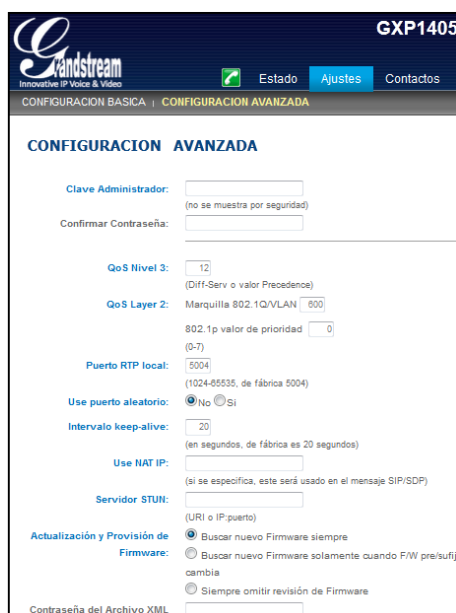


Figura 4.3a. Configuración del teléfono GrandStream modelo GXP1405 de prueba con la VLAN 600. Captura de pantalla-Fuente el autor

En éste teléfono de prueba se puede observar la lista de los códecs de voz soportados y disponibles. Se mantiene el mismo orden de prioridad en los códec como los que ya están configurados en el resto de teléfonos IP fijos de la red existente en la institución.

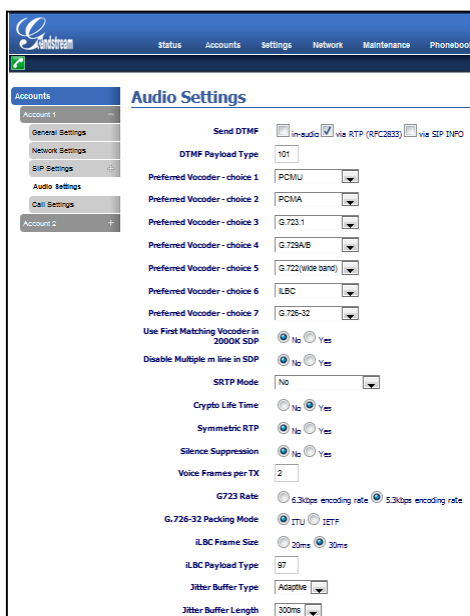


Figura 4.3b. Configuración del teléfono IP fijo GrandStream modelo GXP1405 de prueba con los códecs de voz. Captura de pantalla-Fuente el autor

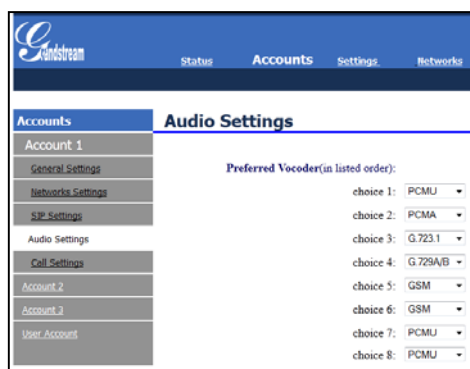


Figura 4.3c. Códecs de voz en el Gateway PSTN modelo GrandStream GXW4104 – 4 Port FXO. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se verifica que el servidor DHCP para la VLAN de voz este levantado en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0., para cuentas SIP, como se indica en la figura 4.4a.



Figura 4.4a. Servidor DHCP levantado en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0. Captura de pantalla-Fuente el autor

En el cual se pueden observar las direcciones IP y el número de extensión de cada terminal IP fijo como se indica en la figura 4.4b

Nombre de Host	Dirección IP	Dirección MAC
ALVARO RODRIGUEZ-2412	172.16.20.138	00-08-82-41-24-12
ELANCA-SIVILA-2366	172.16.20.187	00-08-82-41-14-00
CENTRO-DATOS-2364	172.16.20.194	00-08-82-41-11-88
CLUB-MEDIO-2363	172.16.20.196	00-08-82-41-25-80
DIANA-SACCO-2354	172.16.20.202	00-08-82-41-22-49
ERNESTO-CAMERON-2352	172.16.20.207	00-08-82-41-11-96
ERIBIAN-BAHREZ-2360	172.16.20.204	00-08-82-41-25-02
IVAN-SARGILA-2353	172.16.20.203	00-08-82-41-23-91
JANIR-ROAUS-2352	172.16.20.193	00-08-82-41-24-56
JAVIER-ROZALEZ-2371	172.16.20.178	00-08-82-41-33-74
IGNON-MOLINA-2367	172.16.20.188	00-08-82-41-33-73
JUAN-ORTIGA-2370	172.16.20.176	00-08-82-41-33-70
JUANJO-RODRIGUEZ-2362	172.16.20.184	00-08-82-41-22-91
LEON-DE-2362	172.16.20.200	00-08-82-41-24-60
MARCIAL-ORIGUA-2356	172.16.20.190	00-08-82-41-22-99

Figura 4.4b. Cuentas SIP-servidor de VoIP Elastix 2.3.0. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se levanta en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0 los códecs de voz que no están configurados mediante un logueo vía SSH al servidor de VoIP utilizando la aplicación putty indicado en la figura 4.5a. Posteriormente se ejecuta el comando de descarga del códec de audio deseado y se ingresa a la configuración SIP (véase la figura 4.5b) para dar el permiso de funcionamiento al nuevo códec, como se indica en la figura 4.5c.

Realizado todos estos procesos se verifican los códecs levantados en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0 como se indica en la figura 4.6, en la cual se analizan los tiempos que se tardan los códecs cuando se realiza una recodificación. Los códecs que se encuentran en la primera columna de la izquierda representan a los códecs con los que negocia el equipo terminal de origen, mientras que los códecs que se observan en la primera fila de la parte superior corresponden a los códecs de negociación del equipo terminal destino y los valores de intersecciones entre filas y columnas determinan el tiempo que se demora en realizar la recodificación durante una llamada de voz, el cual está expresado en microsegundos.

```

g723 gsm ulaw alaw g726aal2 adpcm slin lpc10 g729 speex ilbc
26 g722 siren7 siren14 slin16 g719 speex16 testlaw
g723 - 1001 2 2 2000 2 1 1001 2001 3000 6000
01 1000 - - 1001 - 3000 2 2
gsm 3000 - - 2 2 2000 2 1 1001 2001 3000 6000
01 1000 - - 1001 - 3000 2
ulaw 3000 1001 - - 1 2000 2 1 1001 2001 3000 6000
01 1000 - - 1001 - 3000 2
alaw 3000 1001 1 - 2000 2 1 1001 2001 3000 6000
01 1000 - - 1001 - 3000 2
g726aal2 3000 1001 2 2 - 2 1 1001 2001 3000 6000
01 1000 - - 1001 - 3000 2
adpcm 3000 1001 2 2 2000 - 1 1001 2001 3000 6000
01 1000 - - 1001 - 3000 2
slin 2999 1000 1 1 1999 1 - 1000 2000 2999 5999
00 999 - - 1000 - 2999 1
lpc10 3999 2000 1001 1001 2999 1001 1000 - 3000 3999 6999
00 1999 - - 2000 - 3999 1001
g729 3999 2000 1001 1001 2999 1001 1000 2000 - 3999 6999
00 1999 - - 2000 - 3999 1001
speex 3999 2000 1001 1001 2999 1001 1000 2000 3000 - 6999
00 1999 - - 2000 - 3999 1001
ilbc 3999 2000 1001 1001 2999 1001 1000 2000 3000 3999 -
00 1999 - - 2000 - 3999 1001
g726 3000 1001 2 2 2000 2 1 1001 2001 3000 6000
- 1000 - - 1001 - 3000 2
g722 3999 2000 1001 1001 2999 1001 1000 2000 3000 3999 6999
00 - - - 1 2000 1001
siren7 - - - - - - - - - -
siren14 - - - - - - - - - -
slin16 4999 3000 2001 2001 3999 2001 2000 3000 4000 4999 7999
00 1000 - - - 1999 2001
g719 - - - - - - - - - -
speex16 5999 4000 3001 3001 4999 3001 3000 4000 5000 5999 8999
00 2000 - - 1000 - - 3001
testlaw 3000 1001 2 2 2000 2 1 1001 2001 3000 6000

```

Figura 4.6. Lista de códecs de voz habilitados vía consola SSH en el servidor VoIP Elastix 2.3.0. Putty. Captura de pantalla-Fuente el autor

Una vez levantados los códecs de voz en el servidor de VoIP Elastix 2.3.0, se debe de tener en cuenta que si el servidor de VoIP no soporta algún códec, no se podrá establecer la llamada por más que éste esté habilitado en los softphones. Se indica en la figura 4.7.

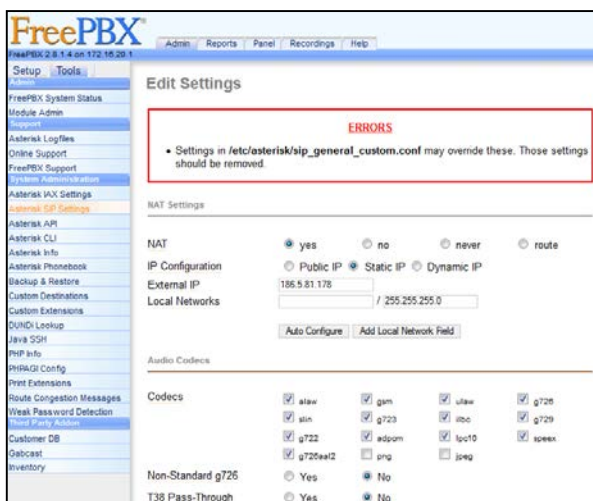


Figura 4.7. Códecs de voz que soporta el servidor de VoIP Elastix 2.3.0. Captura de pantalla-Fuente el autor

Finalmente se configuran las aplicaciones softphones instaladas en los teléfonos móviles celulares inteligentes. Para las pruebas realizadas se configuraron diferentes softphones como: Zoiper, CSipSimple y Bria, en donde se agrega una cuenta SIP, con los parámetros necesarios: Nombre de la cuenta, la dirección IP del servidor de VoIP o la dirección IP pública de la institución y número de extensión con su respectiva contraseña. Se indica en las figuras 4.8a, 4.8b y 4.8c:



Figura 4.8a. Registro de cuenta SIP en softphone Bria. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.8b. Registro de cuenta SIP en softphone CSipSimple. Captura de pantalla-Fuente el autor

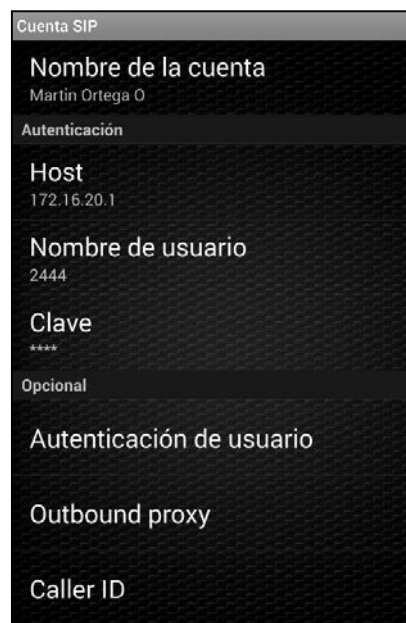


Figura 4.8c. Registro de cuenta SIP en softphone Zoiper. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.4. PRUEBAS REALIZADAS CON LOS CÓDECS DE VOZ

Para las pruebas se han considerado un total de 8 códecs de voz: G.711u, G.711a, GSM, G.722, G.729, G.726-32, Speex-16 e iLBC-13.33, teniendo en cuenta su compatibilidad con el servidor de VoIP Elastix 2.3.0, con los teléfonos IP fijos (GrandStream modelo GXP1405), con el Gateway PSTN (GrandStream modelo GXW4104) que posee el campus universitario y de las aplicaciones softphones instaladas en los teléfonos móviles celulares inteligentes. Las llamadas de prueba utilizan el protocolo SIP que ocupa dos canales por llamada. Se presentan 2 escenarios de prueba indicados a continuación:

4.4.1. Escenario de prueba 1 (pruebas de laboratorio)

Red WLAN interna, con el softphone (instalado en un teléfono móvil celular inteligente) configurado con la dirección IP interna 172.16.20.1 del servidor de VoIP Elastix 2.3.0.

Dentro del escenario de prueba 1 se analizan los siguientes casos:

- Llamada entre dos softphones
- Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo
- Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN
- Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular

4.4.2. Escenario de prueba 2 (pruebas de campo)

Red WLAN externa y/o plan de servicios de internet y datos móviles 3G, con el softphone (instalado en un teléfono móvil celular inteligente) configurado con la dirección IP pública de la institución 186.5.81.178 asignada por el proveedor de servicios de internet y datos CEDIA (Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado).

Dentro del escenario de prueba 2 se analizan los siguientes casos:

- Llamada entre dos softphones
- Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo
- Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN
- Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular

4.5. LEVANTAMIENTO DEL ESCENARIO DE PRUEBA 1

Se realiza el levantamiento del escenario de prueba 1 (pruebas de laboratorio): Red WLAN interna, con el softphone (instalado en el teléfono móvil celular inteligente) configurado con la dirección IP interna 172.16.20.1 del servidor de VoIP Elastix 2.3.0. En la figura 4.9 se presenta el esquema de pruebas para las cuales se utiliza el escritorio remoto dentro de la misma red.

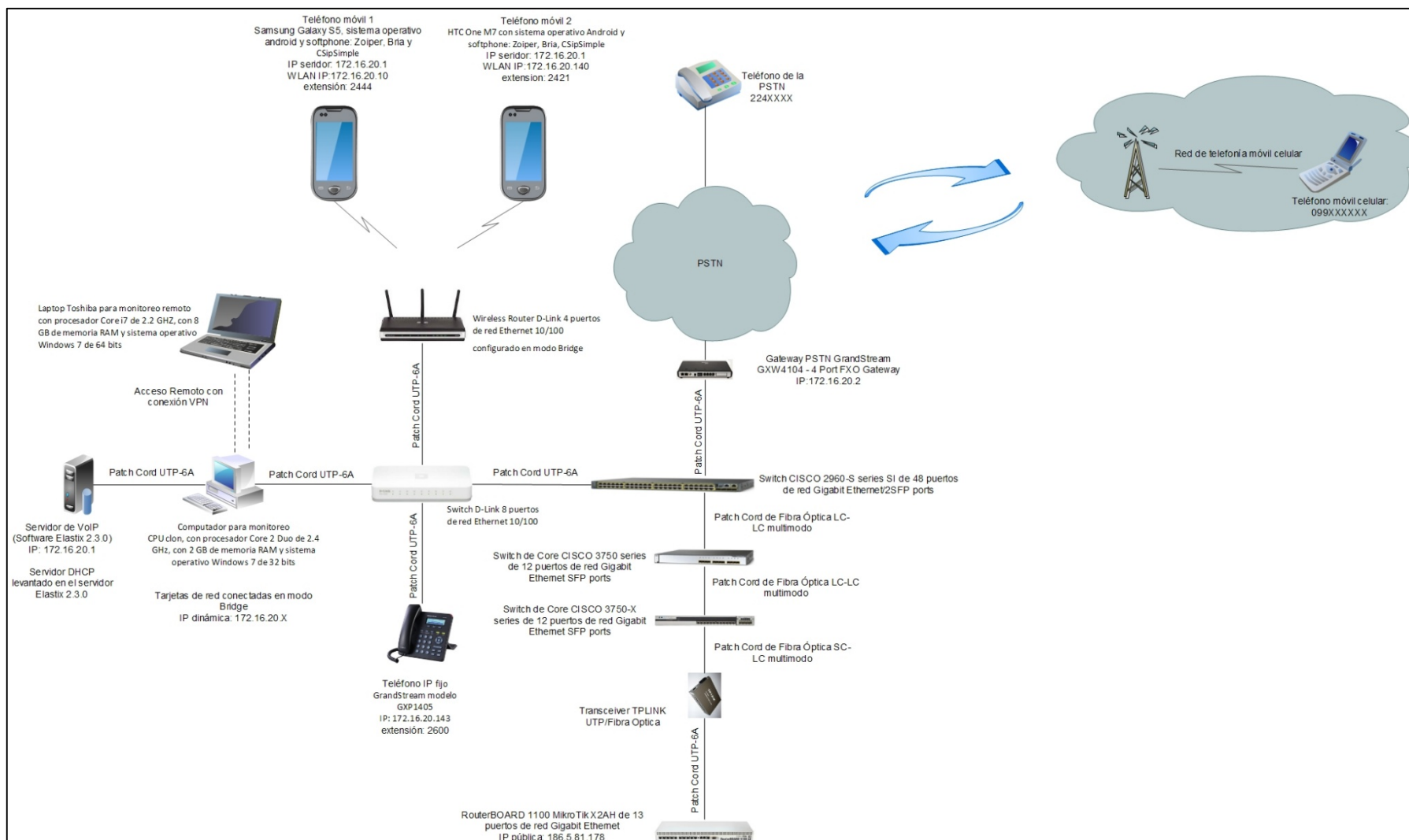


Figura 4.9. Esquema del escenario de prueba 1, para análisis de los códecs de voz. Fuente el autor

4.5.1. Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones

Se realizan llamadas reales de pruebas como se observa en la figura 4.10a, con los 8 códecs mencionados anteriormente, habilitando cada uno de ellos en los softphones. Estos códecs son soportados por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con IP: 172.16.20.10 de extensión 2444, al teléfono móvil 2 con IP: 172.16.20.140 de extensión 2421 o viceversa (refiérase a la figura 4.9):



Figura 4.10a. Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones. Fotografía-Fuente el autor

Se procede a capturar los paquetes con el software Wireshark el cual es de uso libre. Se debe de escoger la tarjeta de red por la cual pasa el tráfico de voz que es lo que se desea analizar, posteriormente se aplican filtros para la visualización del protocolo RTP el cual transporta en tiempo real la voz con su respectivo códec.

a) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz y se realizan las siguientes capturas:

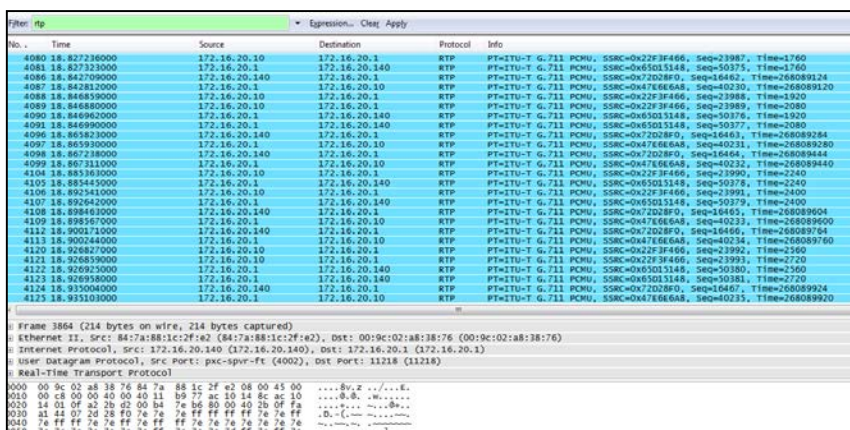


Figura 4.10b. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (174 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (87 kbps) respectivamente

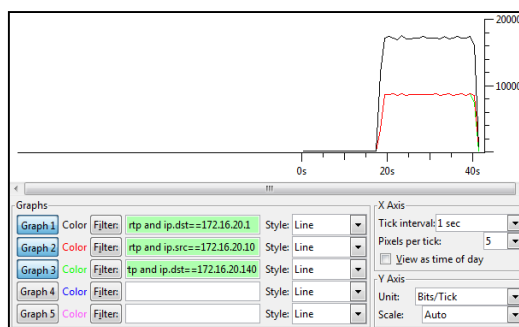


Figura 4.10c. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

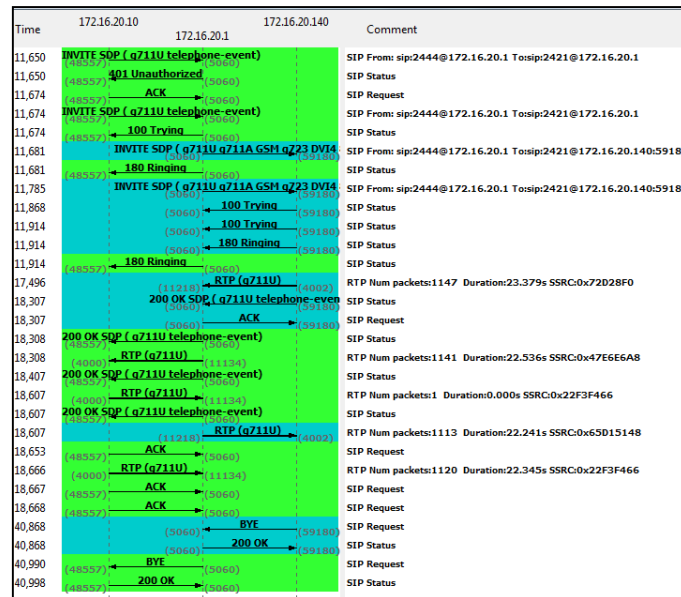


Figura 4.10d. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtienen: la dirección IP origen y destino, el tipo de códec, latencia, jitter, pérdida de paquetes, indicados en las figuras 4.10e y 4.10f

Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb?
172.16.20.140	4002	172.16.20.1	11218	0x72D28F0	ITU-T G.711 PCML	1147	0 (0.0%)	809.83	50.61	16.63	X
172.16.20.1	11134	172.16.20.140	4000	0x47E6E6A8	ITU-T G.711 PCML	1141	0 (0.0%)	73.79	17.88	15.60	X
172.16.20.1	4002	172.16.20.140	11218	0x65D15148	ITU-T G.711 PCML	1113	0 (0.0%)	71.19	17.88	15.60	X
172.16.20.1	11218	172.16.20.140	4002	0x65D15148	ITU-T G.711 PCML	1113	0 (0.0%)	61.56	16.42	10.94	X

Figura 4.10e. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
5044	24167	23.74	12.35	-0.27	81.00		[OK]
5558	24168	34.62	12.48	-20.89	80.00		[OK]
5560	24169	0.60	12.91	-1.49	81.60		[OK]
5583	24170	61.60	14.70	-43.09	78.40		[OK]
5584	24171	0.03	15.03	-23.12	80.00		[OK]
5595	24172	27.71	14.57	-30.83	78.40		[OK]
5609	24173	29.52	14.26	-40.35	76.80		[OK]

Max delta = 61.60 ms at packet no. 5583
 Max jitter = 16.41 ms. Mean jitter = 10.94 ms.
 Max skew = -52.99 ms.
 Total RTP packets = 1121 (expected 1121) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 22.40 s (-262 ms clock drift, corresponding to 7906 Hz (-1.17%))

Figura 4.10f. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711u. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

b) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
453	32.648683000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5918, Time=479864427
454	32.648768000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15038, Time=479864424
457	32.652221000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5919, Time=479864587
458	32.652303000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15039, Time=479864584
460	32.674135000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5920, Time=479864747
461	32.674338000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15040, Time=479864744
462	32.676889000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5921, Time=479864910
463	32.676983000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15041, Time=479864907
464	32.679680000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5922, Time=479865073
465	32.679776000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15042, Time=479865070
466	32.699443000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5923, Time=479865236
467	32.699538000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15043, Time=479865233
468	32.723832000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5924, Time=479865399
469	32.723928000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15044, Time=479865396
470	32.724428000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5925, Time=479865562
471	32.724520000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15045, Time=479865559
472	32.725895000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5926, Time=479865725
473	32.725993000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15046, Time=479865722
474	32.728307000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5927, Time=479865888
475	32.728398000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15047, Time=479865885
477	32.748981000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5928, Time=479866051
478	32.749079000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15048, Time=479866048
479	32.761292000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5929, Time=479866214
480	32.761386000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15049, Time=479866211
481	32.764702000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0942606, Seq=5930, Time=479866377
482	32.764796000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3f05707, Seq=15050, Time=479866374

Figura 4.11a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (176 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (88 kbps) respectivamente

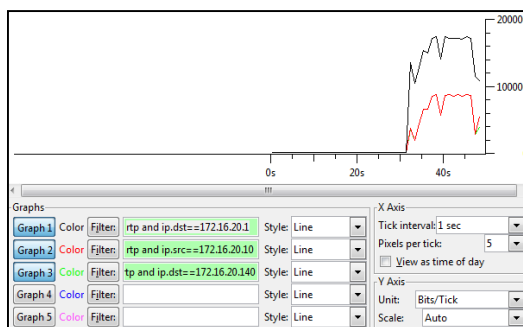


Figura 4.11b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con código G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor



Figura 4.11c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con código G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb?
172.16.20.140	4000	172.16.20.1	10484	0x4D6F2883	ITU-T G.711 PCMA	827	0 (0.0%)	93.82	17.88	15.74	X
172.16.20.1	16748	172.16.20.140	4000	0x1029271A	ITU-T G.711 PCMA	15	0 (0.0%)	43.59	7.83	12.37	X
172.16.20.1	4000	172.16.20.1	16748	0x0029271A	ITU-T G.711 PCMA	655	0 (0.0%)	93.85	17.88	15.81	X
172.16.20.1	16748	172.16.20.10	4000	0x0029271A	ITU-T G.711 PCMA	823	0 (0.0%)	93.85	17.88	15.81	X
172.16.20.1	10484	172.16.20.140	4000	0x3F05707	ITU-T G.711 PCMA	655	0 (0.0%)	1307.34	13.30	10.44	X

Figura 4.11d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con código G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1441	6103	22,90	11,80	-31,31	80,00		[Ok]
1443	6104	2,22	12,17	-13,53	81,60		[Ok]
1449	6105	25,24	11,74	-18,77	83,20		[Ok]
1453	6106	13,17	11,43	-11,94	83,20		[Ok]
1459	6107	29,07	11,28	-21,00	80,00		[Ok]
1465	6108	26,67	10,99	-27,67	81,60		[Ok]
1467	6109	3,61	11,33	-11,28	81,60		[Ok]

Max delta = 64,63 ms at packet no. 1120
 Max jitter = 13,31 ms. Mean jitter = 10,48 ms.
 Max skew = 69,79 ms.
 Total RTP packets = 665 (expected 665) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 16,19 s (-1574 ms clock drift, corresponding to 7222 Hz (-9,72%))

Figura 4.11e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.711a. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

c) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
302	25.147585000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x186A197A, Seq=55904, Time=2033056672
303	25.150233000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x7D4BC6D9, Seq=10425, Time=1248878423
304	25.150310000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x339338F1, Seq=1064, Time=1248878416
305	25.153115000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x7D4BC6D9, Seq=10426, Time=1248878583
306	25.153204000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x339338F1, Seq=1065, Time=1248878576
307	25.183545000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x3D1815D1, Seq=30068, Time=2033056837
308	25.183647000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x186A197A, Seq=55905, Time=2033056832
309	25.183699000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x3D1815D1, Seq=30069, Time=2033056997
310	25.183701000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x186A197A, Seq=55906, Time=2033056992
311	25.189330000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x7D4BC6D9, Seq=10427, Time=1248878743
312	25.189670000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x339338F1, Seq=1066, Time=1248878736
313	25.204711000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x7D4BC6D9, Seq=10428, Time=1248878903
314	25.204809000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x339338F1, Seq=1067, Time=1248878896
315	25.227308000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x3D1815D1, Seq=30070, Time=2033057157
316	25.227408000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x186A197A, Seq=55907, Time=2033057152
317	25.230492000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x7D4BC6D9, Seq=10429, Time=1248879003
318	25.230534000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x7D4BC6D9, Seq=10430, Time=1248879023
319	25.230591000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x339338F1, Seq=1068, Time=1248879056
320	25.230630000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x339338F1, Seq=1069, Time=1248879216
321	25.234247000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x3D1815D1, Seq=30071, Time=2033057117
322	25.234333000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x186A197A, Seq=55908, Time=2033057112
323	25.259839000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x7D4BC6D9, Seq=10431, Time=1248879383
324	25.259907000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x339338F1, Seq=1070, Time=1248879376
325	25.268576000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x3D1815D1, Seq=30072, Time=2033057477
326	25.268667000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x186A197A, Seq=55909, Time=2033057472
327	25.269990000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=GSM, 06.10, SSRC=0x3D1815D1, Seq=30073, Time=2033057637

Frame 227 (87 bytes on wire, 87 bytes captured)
 Ethernet II, Src: 84:7a:a8:1c:2f:e2 (84:7a:a8:1c:2f:e2), Dst: 00:9c:02:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76)
 Internet Protocol, Src: 172.16.20.140 (172.16.20.140), Dst: 172.16.20.1 (172.16.20.1)
 User Datagram Protocol, Src Port: terabase (4000), Dst Port: 17814 (17814)
 Real-time Transport Protocol

```

0000 00 9c 02 a8 38 76 84 7a 88 1c 2f e2 08 00 45 00  ...8v.2....E.
0010 00 49 00 00 49 00 40 11 89 f6 ac 10 14 8e ac 10  ....8.8.....
0020 14 01 0f a0 45 96 00 35 28 82 80 03 75 5f 79 20  .....5(.u.uy.
0030 ef 25 3d 18 15 d1 d8 70 a2 e1 5a 50 00 49 24 92  .5m....PP.15
0040 49 24 30 00 49 24 92 49 24 30 00 49 24 92 49 24  .PP.15.PP.15
0050 50 00 49 24 92 49 24
    
```

Figura 4.12a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (68 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (34 kbps) respectivamente

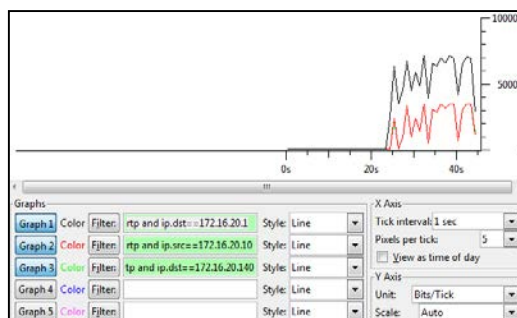


Figura 4.12b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con código GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.12c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con código GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src IP addr	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max jitter (ms)	Mean jitter (ms)	Pb?
172.16.20.140	4000	172.16.20.1	17814	0x0181501	GSM 06.10	995	-2 (0.2%)	89.73	19.02	15.04	X
172.16.20.1	14108	186.5.81.178	4000	0x086A197A	GSM 06.10	16	0 (0.0%)	42.00	9.04	14.94	X
172.16.20.1	4000	172.16.20.1	17814	0x0181501	GSM 06.10	7	0 (0.0%)	1.25	1.25	1.25	X
172.16.20.1	14108	172.16.20.10	4000	0x086A197A	GSM 06.10	959	0 (0.0%)	89.74	18.95	15.05	X
172.16.20.1	17814	172.16.20.140	4000	0x039388F1	GSM 06.10	863	0 (0.0%)	1998.36	13.60	10.95	X

Figura 4.12d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1581	10632	32,27	12,23	-14,09	29,78		[Ok]
1585	10633	7,58	12,24	-1,68	30,37		[Ok]
1588	10634	32,86	12,28	-14,54	29,78		[Ok]
1590	10635	1,15	12,69	4,31	30,37		[Ok]
1596	10636	25,48	12,34	-1,17	29,78		[Ok]
1600	10637	26,90	11,90	-8,07	29,20		[Ok]
1607	10638	34,80	12,08	-22,87	29,20		[Ok]

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 14108 SSRC = 0x7D48C6D9

Max delta = 45.52 ms at packet no. 3675
 Max jitter = 13.99 ms. Mean jitter = 11.06 ms.
 Max skew = -32.09 ms.
 Total RTP packets = 667 (expected 667) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 19.19 s (-868 ms clock drift, corresponding to 7638 Hz (-4.52%))

Figura 4.12e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
287	21.487001000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25674, Time=1486832333
288	21.487098000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49822, Time=1486832328
289	21.479133000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25675, Time=1486832695
290	21.479232000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49823, Time=1486832688
291	21.492193000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1D38D94, Seq=14476, Time=971654991
292	21.492831000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1D38D94, Seq=14477, Time=971654991
293	21.492884000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x5C6838F, Seq=43718, Time=971654928
294	21.492944000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x5C6838F, Seq=43719, Time=971654988
295	21.506782000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25676, Time=1486832853
296	21.506857000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49824, Time=1486832848
297	21.507202000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25677, Time=1486833015
298	21.507193000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49825, Time=1486833008
299	21.529326000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1D38D94, Seq=14478, Time=971654251
300	21.529621000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x5C6838F, Seq=43720, Time=971654248
301	21.530970000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25678, Time=1486833175
302	21.531045000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49826, Time=1486833168
303	21.531317000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1D38D94, Seq=14479, Time=971654411
304	21.531371000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x5C6838F, Seq=43721, Time=971654406
305	21.565993000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1D38D94, Seq=14480, Time=971654571
306	21.566067000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x5C6838F, Seq=43722, Time=971654568
307	21.569722000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25679, Time=1486833335
308	21.569856000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49827, Time=1486833328
310	21.599380000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25680, Time=1486833495
311	21.599416000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22684671, Seq=25681, Time=1486833655
312	21.599494000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49828, Time=1486833488
313	21.599527000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x74E724C2, Seq=49829, Time=1486833648

Filter: rtp

Expression: Clear Apply

Frame 272 (214 bytes on wire, 214 bytes captured)

Ethernet II, Src: F4:09:d8:6a:cl:99 (F4:09:d8:6a:cl:99), Dst: 00:9c:02:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76)

Internet Protocol, Src: 172.16.20.10 (172.16.20.10), Dst: 172.16.20.1 (172.16.20.1)

User Datagram Protocol, Src Port: pxc-sprv-ft (4002), Dst Port: 13272 (13272)

Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 02 a8 38 76 f4 09 d8 6a c1 99 08 00 43 b8 ...8.v...j....E.
0010 00 c8 00 00 00 00 40 11 b9 41 ac 10 14 0a ac 10 ...8.0..A.....
0020 14 01 0f a2 73 08 00 b4 80 52 80 09 64 47 58 9f ...3...A...0pK.
0030 43 b7 24 0b 49 71 ba 74 ba f3 f1 f8 df 78 f8 9f ...A...Rf6...i...
0040 f8 f5 b3 df 76 b6 dc 7b b8 7b 9c 7a f5 b8 78 f3 ...v...f...z...X.
0050 f8 7b df fa fa 9c fa f8 25 de f5 b5 fa de f5 f3 ...v...U.....
    
```

Figura 4.13a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (174 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (87 kbps) respectivamente

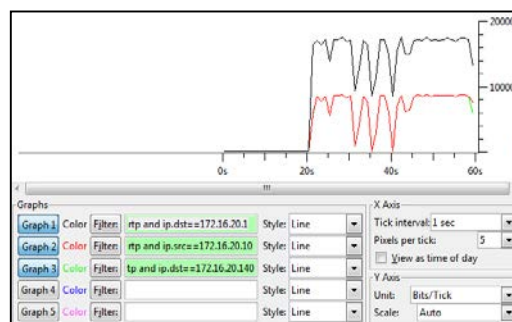


Figura 4.13b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con código G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

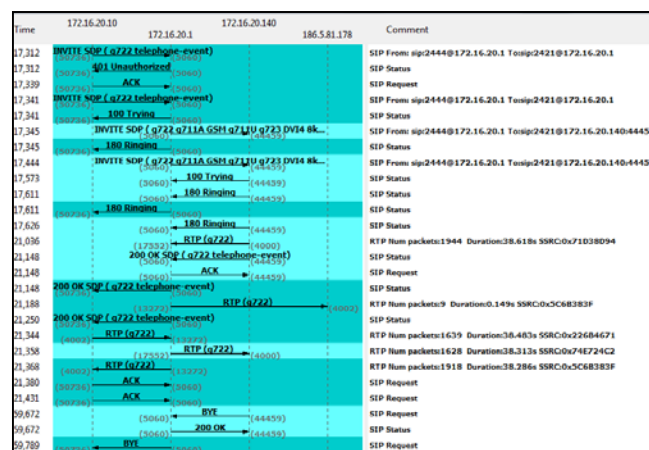


Figura 4.13c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con código G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb?
172.16.20.140	4000	172.16.20.1	17552	0x71D38D94	ITU-T G.722	1944	2 (0.1%)	100.36	21.04	15.31	X
172.16.20.1	13272	186.5.81.178	4002	0x5C68383F	ITU-T G.722	9	0 (0.0%)	38.00	6.53	14.41	X
172.16.20.1	13272	172.16.20.1	4002	0x79977171	ITU-T G.722	1132	0 (0.0%)	100.36	21.04	15.31	X
172.16.20.1	17552	172.16.20.140	4000	0x74E724C2	ITU-T G.722	1628	0 (0.0%)	1807.90	11615872.01	114171.22	X
172.16.20.1	13272	172.16.20.10	4002	0x5C68383F	ITU-T G.722	1918	0 (0.0%)	100.34	21.04	15.29	X

Figura 4.13d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4002 to 172.16.20.1 port 13272 SSRC = 0x22684671						
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Status
776	25788	13,51	9,70	20,43	80,00	[Ok]
781	25789	25,67	9,44	14,76	80,00	[Ok]
784	25790	12,21	9,34	22,56	81,60	[Ok]
791	25791	17,49	8,92	25,07	81,60	[Ok]
793	25792	31,40	9,07	13,67	80,00	[Ok]
799	25793	3,19	9,55	30,48	81,60	[Ok]
801	25794	21,14	9,03	29,34	81,60	[Ok]

Max delta = 75,08 ms at packet no. 6537
 Max jitter = 16,23 ms. Mean jitter = 10,32 ms.
 Max skew = 36,89 ms.
 Total RTP packets = 1639 (expected 1639) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 38,48 s (-151 ms clock drift, corresponding to 7969 Hz (-0,39%))

Figura 4.13e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

e) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
708	44.486293000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3C4E534C, Seq=17312, Time=1760
709	44.490672000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x791D0692A, Seq=12340, Time=145515997
710	44.490760000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x61C4E3F0, Seq=36347, Time=145515992
711	44.519443000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x791D0692A, Seq=12341, Time=145516157
712	44.519430000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x61C4E3F0, Seq=36348, Time=145516152
713	44.519481000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x316C453, Seq=6636, Time=440903018
714	44.519200000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3C4E534C, Seq=17313, Time=14920
715	44.520696000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x510E453, Seq=6637, Time=440905179
716	44.520780000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3C4E534C, Seq=17314, Time=2080
717	44.548821000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x791D0692A, Seq=12342, Time=145516317
718	44.548921000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x61C4E3F0, Seq=36349, Time=145516312
724	44.558411000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x791D0692A, Seq=12343, Time=145516477
725	44.558310000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x61C4E3F0, Seq=36350, Time=145516472
726	44.559321000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x316C453, Seq=6636, Time=440903339
727	44.559633000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3C4E534C, Seq=17315, Time=2240
728	44.576501000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x510E453, Seq=6637, Time=440905499
729	44.576601000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3C4E534C, Seq=17316, Time=2400
730	44.580090000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x791D0692A, Seq=12344, Time=145516637
731	44.580160000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x61C4E3F0, Seq=36351, Time=145516632
732	44.581620000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x791D0692A, Seq=12345, Time=145516797
733	44.581710000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x61C4E3F0, Seq=36352, Time=145516792
734	44.600733000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x316C453, Seq=6636, Time=440903659
735	44.600840000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3C4E534C, Seq=17317, Time=2560
736	44.601593000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x510E453, Seq=6639, Time=440905819
737	44.601693000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3C4E534C, Seq=17318, Time=2720
738	44.616270000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x791D0692A, Seq=12346, Time=145516957

```

Frame 689 (74 bytes on wire, 74 bytes captured)
Ethernet II, Src: 84:7a:89:1c:2f:e2 (84:7a:89:1c:2f:e2), Dst: 00:9c:02:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76)
Internet Protocol, Src: 172.16.20.140 (172.16.20.140), Dst: 172.16.20.1 (172.16.20.1)
User Datagram Protocol, Src Port: terabase (4000), Dst Port: 11418 (11418)
Real-Time Transport Protocol
000 00 9c 02 a8 38 76 84 7a 88 1c 2f e2 08 00 45 00 ...Bv.z...E.
010 00 1c 09 00 40 00 40 11 ba 05 10 14 8c ac 10 ...(.B.....
020 14 01 0f a0 2c 9a 00 28 13 e4 80 12 30 39 56 c1 .....(.....000.
030 68 66 79 10 69 2a f8 ef fd 9b b5 98 8d 64 cf de .....f.....d.
040 78 16 41 46 8f 0a d9 8b b3 5a .....x.AF.....
    
```

Figura 4.14a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (60 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (30 kbps) respectivamente



Figura 4.14b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

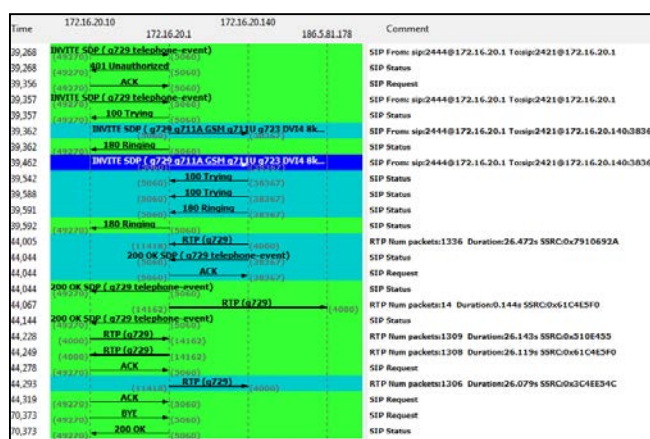


Figura 4.14c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pkt?
172.16.20.140	4000	172.16.20.1	13438	0x7910992A	ITU-T G.729	1398	0 (0.0%)	101.89	20.72	14.85	X
172.16.20.1	14162	186.5.81.178	4000	0x61CAE5F0	ITU-T G.729	14	0 (0.0%)	41.38	7.44	12.16	X
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	14162	0x510E455	ITU-T G.729	1309	0 (0.0%)	86.12	19.19	10.96	X
172.16.20.1	14162	172.16.20.10	4000	0x61CAE5F0	ITU-T G.729	1308	0 (0.0%)	101.87	20.72	14.86	X
172.16.20.1	14162	172.16.20.10	4000	0x374E58C7	ITU-T G.729	1396	0 (0.0%)	86.12	19.18	10.94	X

Figura 4.14d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 14162 SSRC = 0x510E455										
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status			
1743	6881	3,68	13,35	4,90	24,48		[Ok]			
1749	6882	38,23	13,66	-13,33	24,00		[Ok]			
1755	6883	18,26	12,91	-11,59	24,00		[Ok]			
1757	6884	0,87	13,30	7,54	24,48		[Ok]			
1761	6885	27,93	12,96	-0,39	24,48		[Ok]			
1763	6886	11,48	12,69	8,13	24,48		[Ok]			
1769	6887	39,53	13,11	-11,40	24,00		[Ok]			

Max delta = 86,12 ms at packet no. 2688
 Max jitter = 19,19 ms. Mean jitter = 10,96 ms.
 Max skew = -77,58 ms.
 Total RTP packets = 1309 (expected 1309) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 26,14 s (+493 ms clock drift, corresponding to 7739 Hz (-9,26%))

Figura 4.14e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

f) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
8512	69.702976000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x6C622A67, Seq=52821, Time=77440
8514	69.715822000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x49812BE4, Seq=27386, Time=82720
8515	69.715849000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x4D6C0B31, Seq=50813, Time=82720
8516	69.718330000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x49812BE4, Seq=27387, Time=82880
8517	69.718440000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x4D6C0B31, Seq=50814, Time=82880
8518	69.748565000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12101, Time=77600
8519	69.748706000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x6C622A67, Seq=52822, Time=77600
8521	69.751209000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12102, Time=77600
8522	69.751303000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x6C622A67, Seq=52823, Time=77600
8523	69.752340000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x49812BE4, Seq=27388, Time=83040
8524	69.752410000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x49812BE4, Seq=27389, Time=83200
8525	69.752454000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x4D6C0B31, Seq=50815, Time=83040
8526	69.752501000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x4D6C0B31, Seq=50816, Time=83200
8528	69.758791000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12102, Time=77920
8529	69.758920000	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x6C622A67, Seq=52824, Time=77920
8532	69.780610000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x49812BE4, Seq=27390, Time=83360
8533	69.781230000	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x49812BE4, Seq=27391, Time=83520
8534	69.788549000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12104, Time=78080
8536	69.820981000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12103, Time=78240
8539	69.857362000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12106, Time=78400
8540	69.857410000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12107, Time=78560
8541	69.876680000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12108, Time=78720
8542	69.903623000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12109, Time=78880
8545	69.937614000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12110, Time=79040
8546	69.938120000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12111, Time=79200
8547	69.957416000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G726-32, SSRC=0x67713438, Seq=12112, Time=79360

Frame 8509 (134 bytes on wire, 134 bytes captured)
 Ethernet II, Src: f4:09:d8:6a:c1:99 (f4:09:d8:6a:c1:99), Dst: 00:9c:02:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76)
 Internet Protocol, Src: 172.16.20.10 (172.16.20.10), Dst: 172.16.20.1 (172.16.20.1)
 User Datagram Protocol, Src port: pxc-sppv (4006), Dst port: 13988 (13988)
 Real-time Transport Protocol

```

0000 00 9c 02 a8 38 76 f4 09 d8 6a c1 99 08 00 45 00  ....Sv...E...
0010 00 78 00 00 40 40 11 ba 49 ac 10 14 0a ac 10  ..x..θ.!.....
0020 14 03 0f 36 36 a4 00 64 27 0c 80 73 2f 43 00 03  ..G..d'..S/C...
0030 2d e0 67 71 34 38 fe fd dc e2 df d2 ee ff 21 ff  ..gg48.....!.
0040 22 10 f2 df 2f e1 ff ff 1f d1 fd 1f ef 1f df ff  .."/.../.../...
0050 ee ff ff ff ff ff ff 13 11 1f 1f 1f 1f 1f 1f  ..e...../.../...
0060
    
```

Figura 4.15a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (110 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (55 kbps) respectivamente

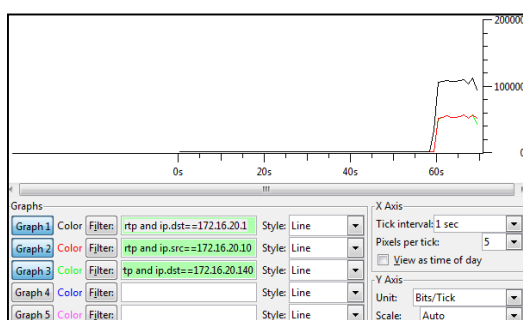


Figura 4.15b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

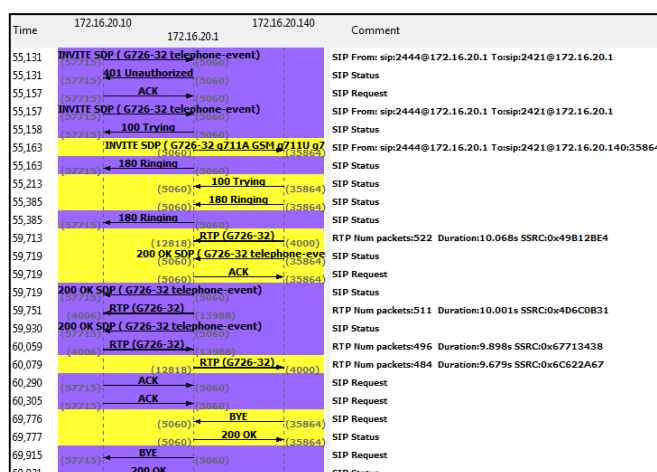


Figura 4.15c. Establecimiento de la llamada SIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pkt?
172.16.20.140	4000	172.16.20.1	12818	0x498128E4	G726-32	522	0 (0.0%)	54,28	17,46	16,12	X
172.16.20.1	13988	172.16.20.10	4006	0x4D6C0831	G726-32	511	0 (0.0%)	54,30	17,44	16,08	X
172.16.20.10	4006	172.16.20.1	13988	0x67713438	G726-32	496	0 (0.0%)	60,89	15,47	11,68	X
172.16.20.1	12818	172.16.20.140	4000	0x6C622A67	G726-32	484	0 (0.0%)	60,91	15,47	11,81	X

Figura 4.15d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
5703	11018	20,38	0,02	-0,38	1,28		[Ok]
5709	11019	24,95	0,33	-5,33	1,92		[Ok]
5710	11020	0,46	1,52	14,21	2,56		[Ok]
5716	11021	22,90	1,62	11,31	3,20		[Ok]
5718	11022	31,38	2,23	-0,06	3,84		[Ok]
5724	11023	23,37	2,30	-3,43	4,80		[Ok]
5726	11024	2,29	3,26	14,28	5,76		[Ok]

Max delta = 60.89 ms at packet no. 6179
 Max jitter = 15.47 ms. Mean jitter = 11.68 ms.
 Max skew = -27.91 ms.
 Total RTP packets = 496 (expected 496) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 9.90 s (-4669 ms clock drift, corresponding to 4226 Hz (-47.17%))

Figura 4.15e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

g) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2065	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x22867365, Seq=22727, Time=4075489782
2066	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x2A90E828, Seq=18724, Time=4075489776
2067	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x52A108CF, Seq=20107, Time=950703634
2068	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	75	PT=DynamicRTP-Type=110, SSRC=0x3C207F27, Seq=2329, Time=950703632
2069	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x52A108CF, Seq=20108, Time=950703794
2070	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	75	PT=DynamicRTP-Type=110, SSRC=0x3C207F27, Seq=2330, Time=950703792
2071	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x22867365, Seq=22728, Time=4075489942
2072	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x2A90E828, Seq=18735, Time=4075489936
2073	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x52A108CF, Seq=20109, Time=950703954
2074	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	75	PT=DynamicRTP-Type=110, SSRC=0x3C207F27, Seq=2331, Time=950703952
2075	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x52A108CF, Seq=20110, Time=950704114
2076	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	75	PT=DynamicRTP-Type=110, SSRC=0x3C207F27, Seq=2332, Time=950704112
2077	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x22867365, Seq=22729, Time=4075490102
2078	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x2A90E828, Seq=18736, Time=4075490096
2080	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x52A108CF, Seq=20111, Time=950704274
2081	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	75	PT=DynamicRTP-Type=110, SSRC=0x3C207F27, Seq=2333, Time=950704272
2086	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x22867365, Seq=22730, Time=4075490262
2087	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x2A90E828, Seq=18737, Time=4075490256
2088	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x52A108CF, Seq=20112, Time=950704434
2089	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	75	PT=DynamicRTP-Type=110, SSRC=0x3C207F27, Seq=2334, Time=950704432
2090	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x22867365, Seq=22731, Time=4075490422
2091	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x2A90E828, Seq=18738, Time=4075490416

Frame 2051: 75 bytes on wire (600 bits), 75 bytes captured (600 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Htc-1c12f1a2 (04:7a:88:1c:12f1a2), Dst: Hewlett-...80:13b:76 (00:19:c0:2d:80:13b:76)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.140 (172.16.20.140), Dst: 172.16.20.1 (172.16.20.1)
 User Datagram Protocol, Src Port: 42208 (42208), Dst Port: 15390 (15390)
 Real-Time Transport Protocol

Figura 4.16a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (60 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (30 kbps) respectivamente

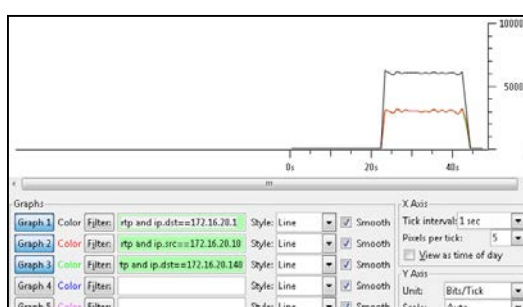


Figura 4.16b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

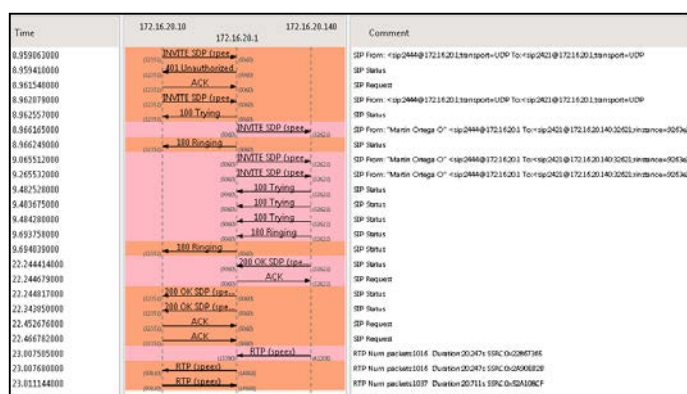


Figura 4.16c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	14868	172.16.20.10	50810	0x2A90EB2B	speex	1016	0 (0,0%)
172.16.20.1	15390	172.16.20.140	42208	0x3C207F27	RTPType=110	1031	0 (0,0%)
172.16.20.10	50810	172.16.20.1	14868	0x52A108CF	speex	1037	0 (0,0%)
172.16.20.140	42208	172.16.20.1	15390	0x22867365	speex	1016	0 (0,0%)

Figura 4.16d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 50810 to 172.16.20.1 port 14868 SSRC = 0x52A108CF							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
4297	20469	24,39	9,50	2,68	24,89		[Ok]
4203	20469	22,16	9,04	0,52	24,40		[Ok]
4205	20470	5,16	9,40	15,36	24,89		[Ok]
4211	20471	38,13	9,95	-2,77	24,40		[Ok]
4213	20472	2,20	10,44	15,84	24,40		[Ok]
4219	20473	37,22	10,86	-2,10	23,91		[Ok]
4221	20474	2,45	11,20	15,36	24,40		[Ok]
4229	20475	33,93	11,45	1,43	24,40		[Ok]

Max delta = 211,59 ms at packet no. 7389
 Max jitter = 21,58 ms. Mean jitter = 11,15 ms.
 Max skew = -173,83 ms.
 Total RTP packets = 1037 (expected 1037) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 20,71 s (-428 ms clock drift, corresponding to 7835 Hz (-2,87%))

Figura 4.16e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

h) Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
8943	73.4922490	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	104	PT=dynanmCRTP-Type=97, SSRC=0x74350990, Seq=64276, TTime=624401824
8944	73.4987470	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10562, TTime=644724666
8945	73.498820	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x56F7081A, Seq=59530, TTime=644724664
8947	73.5233850	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x32608926, Seq=5740, TTime=624402050
8948	73.5235220	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	104	PT=dynanmCRTP-Type=97, SSRC=0x74350990, Seq=64277, TTime=624402064
8950	73.5378600	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10563, TTime=644724906
8951	73.5380360	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x56F7081A, Seq=59531, TTime=644724904
8952	73.5469990	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10564, TTime=644725146
8953	73.5471300	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x56F7081A, Seq=59532, TTime=644725144
8954	73.5490100	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x32608926, Seq=5741, TTime=624402309
8955	73.5493360	172.16.20.1	172.16.20.140	RTP	104	PT=dynanmCRTP-Type=97, SSRC=0x74350990, Seq=64278, TTime=624402304
8956	73.5792130	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x32608926, Seq=5742, TTime=624402549
8957	73.5793210	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=dynanmCRTP-Type=97, SSRC=0x74350990, Seq=64279, TTime=624402544
8960	73.5995550	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10565, TTime=644725386
8961	73.6047760	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x32608926, Seq=5743, TTime=624402789
8962	73.6048400	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10566, TTime=644725626
8965	73.6662620	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10567, TTime=644725966
8966	73.7082350	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10568, TTime=644726106
8967	73.7283720	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10569, TTime=644726346
8969	73.7219850	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10570, TTime=644726586
8993	73.7621970	172.16.20.140	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x2311891, Seq=10571, TTime=644726826

Frame 8943: 104 bytes on wire (832 bits), 104 bytes captured (832 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-AR:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Htc_Lc:2f:e2 (84:7a:88:1c:2f:e2)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.140 (172.16.20.140)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 15436 (15436), Dst Port: 4004 (4004)
 # Real-Time Transport Protocol
 #
 #
 0000 84 7a 88 1c 2f e2 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 .Z./... ..8v..E.
 0010 00 5a 00 00 40 00 11 b9 28 ac 10 14 03 ac 10 .2..@.. ..
 0020 14 8c 3c 4f a4 00 46 b3 3a 90 61 7b 14 75 37 -+...F...A...@
 0030 0d 40 74 35 08 9b 55 88 e3 f9 01 33 34 95 1c 07 ..t3..U...34...

Figura 4.17a. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (58 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (29 kbps) respectivamente

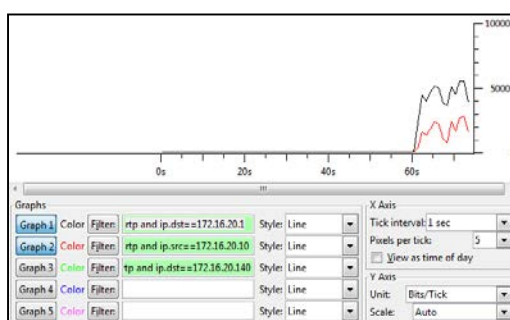


Figura 4.17b. Ancho de banda de la llamada de VoIP. Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

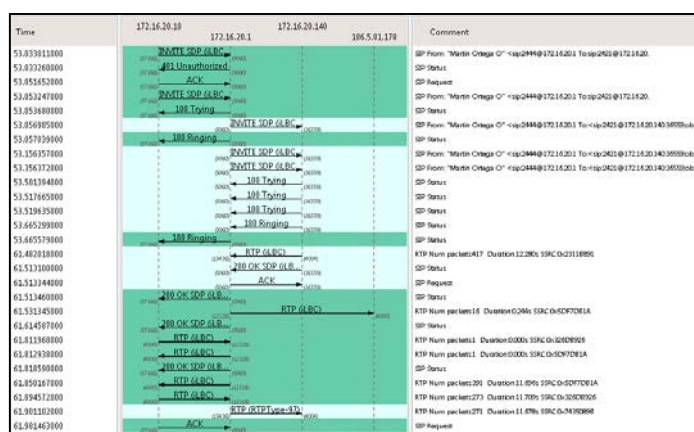


Figura 4.17c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 8 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	17412	172.16.20.254	5088	0x522646EA	g711A	426	0 (0,0%)
172.16.20.1	17550	172.16.20.254	5072	0x1D2DBE38	g711A	426	0 (0,0%)
172.16.20.1	18472	172.16.20.254	5088	0x1BD48822	g711A	426	0 (0,0%)
172.16.20.1	12328	186.5.81.178	4000	0x5DF7DB1A	iLBC	16	0 (0,0%)
172.16.20.1	12328	172.16.20.10	4000	0x5DF7DB1A	iLBC	392	0 (0,0%)
172.16.20.1	15436	172.16.20.140	4004	0x7435089B	RTPType-97	271	0 (0,0%)
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	12328	0x326D8926	iLBC	274	0 (0,0%)
172.16.20.140	4004	172.16.20.1	15436	0x23118891	iLBC	417	0 (0,0%)

Figura 4.17d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.1 port 12328 to 172.16.20.10 port 4000 SSRC = 0x5DF7DB1A							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
8305	59417	45,96	13,32	-31,16	23,76		[Ok]
8311	59418	37,20	12,94	-38,97	23,76		[Ok]
8314	59419	30,42	12,15	-38,78	23,76		[Ok]
8316	59420	2,35	13,12	-11,13	24,48		[Ok]
8318	59421	25,64	12,57	-6,78	24,48		[Ok]
8322	59422	41,11	12,48	-17,89	24,48		[Ok]
8324	59423	45,40	12,66	-33,29	23,76		[Ok]
8327	59424	5,80	13,38	-9,18	24,48		[Ok]

Max delta = 69,86 ms at packet no. 7722
 Max jitter = 18,01 ms. Mean jitter = 13,89 ms.
 Max skew = -67,50 ms.
 Total RTP packets = 392 (expected 392) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 11,73 s (-5411 ms clock drift, corresponding to 4311 Hz (-46,11%))

Figura 4.17e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.5.2. Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones

Obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.2.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP.

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio									
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	87	87	174	61,6	16,41	0	1121	5	Excelente
G.711a	214	88	88	176	64,63	13,31	0	665	5	Excelente
GSM	87	34	34	68	45,52	13,59	0	667	2	Se corta la comunicación
G.722	214	87	87	174	75,08	16,23	0	1639	4	Se degrada (robotiza) la voz
G.729	74	30	30	60	86,12	19,19	0	1309	4	Más estable que los demás
G.726-32	134	55	55	110	60,89	15,47	0	496	3	Problemas de conectividad
Speex-16	75	30	30	60	211,59	21,58	0	1037	3	Problemas de conectividad
iLBC-13.33	104	29	29	58	89,86	18,01	0	392	4	Se corta un poco la comunicación

Tabla 4.2. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada de VoIP en éste caso con el protocolo SIP es cercano a la suma de los valores teóricos (véase capítulo 3) de los anchos de banda que manejan los códecs en cada canal, considerando que se necesitan dos canales para establecer la comunicación. Por lo tanto se establece este subescenario como muy próximo a un escenario ideal. De ésta manera se tiene el tamaño real de los códecs de voz, su ancho de banda, PPS y MOS, como se indica en la tabla 4.3a, en la cual se realiza una comparación de los valores prácticos y teóricos de los códecs de voz. Para cada trama RTP que incluye al códec respectivo se resta el tamaño de su cabecera (12 bytes \cong 5 kbps).

código	Valores teóricos de los códecs de voz				Valores prácticos reales de los códecs de voz - prueba de laboratorio				
	Tamaño de una trama RTP calculado o tamaño del código cabecera (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP (kbps)	PPS basado en el Frame Size	MOS 1 a 5	Tamaño de una trama RTP sin cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP, canal origen de la llamada de VoIP (kbps)	PPS calculado basado en el Frame Size (véase capítulo 3)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	160	64	50	4.3	202	82	50,74	5	Excelente
G.711a	160	64	50	4.3	202	83	51,36	5	Excelente
GSM	33	13	50	3.5	75	29	48,33	2	Se corta la comunicación
G.722	160	64	50	4.1 a 4.5	202	82	50.74	4	Se degrada (robotiza) la voz
G.729	20	8	50	4	62	25	50,4	4	Más estable que los demás
G.726-32	80	32	50	4	122	50	51,23	3	Problemas de conectividad
Speex-16	40	16	50	3.78	63	25	49,60	3	Problemas de conectividad
iLBC-13.33	50	13,33	33,33	3.74 a 4.14	92	24	32,61	4	Se corta un poco la comunicación

Tabla 4.3a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos—Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

Ordenado según el ancho de banda por canal con su respectivo códec de voz de la llamada de VoIP con el protocolo SIP, se consigue la tabla 4.3b. Se puede apreciar que con los códecs: G.711a, G.711u y G.722 se tiene un mayor ancho de banda y un menor ancho de banda con los códecs: GSM, G.729, Speex-16 e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.711a	88	Mayor
G.711u	87	Mayor
G.722	87	Mayor
G.726-32	55	Intermedio
GSM	34	Menor
G.729	30	Menor
Speex-16	30	Menor
iLBC-13.33	29	Menor

Tabla 4.3b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

Al comparar las latencias en una trama RTP, con el códec GSM se obtiene el menor valor en cambio con el Speex-16 se tiene una alta latencia. Si se compara con el valor teórico se observa que únicamente con el códec Speex-16 no se está cumpliendo con éste parámetro. Como se indica en la tabla 4.3c.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
GSM	45,52	SI
G.726-32	60,89	SI
G.711u	61,6	SI
G.711a	64,63	SI
G.722	75,08	SI
G.729	86,12	SI
iLBC-13.33	89,86	SI
Speex-16	211,59	NO

Tabla 4.3c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con el códec G.711a seguido del GSM se obtienen valores bajos y con el Speex-16 todo lo contrario. Teniendo en cuenta que con todos los códecs si se cumple con el valor deseado. Indicado en la tabla 4.3d.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
G.711a	13,31	SI
GSM	13,59	SI
G.726-32	15,47	SI
G.722	16,23	SI
G.711u	16,41	SI
iLBC-13.33	18,01	SI
G.729	19,19	SI
Speex-16	21,58	SI

Tabla 4.3d. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones.

Fuente el autor

La pérdida de paquetes en las tramas RTP es de 0 % para con todos los códecs, como se observa en la tabla 4.3e.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
G.711u	0	SI
G.711a	0	SI
GSM	0	SI
G.722	0	SI
G.729	0	SI
G.726-32	0	SI
Speex-16	0	SI
iLBC-13.33	0	SI

Tabla 4.3e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales

han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. Se identifican que los mejores resultados son con los códec: G.711u y G.711a, siendo el rendimiento más bajo con el GSM, como se indica en la tabla 4.3f.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
G.711u	5	Excelente
G.711a	5	Excelente
G.722	4	Se degrada (robotiza) la voz
G.729	4	Más estable que los demás
iLBC-13.33	4	Se corta un poco la comunicación
G.726-32	3	Problemas de conectividad
Speex-16	3	Problemas de conectividad
GSM	2	Se corta la comunicación

Tabla 4.3f. MOS con los códec de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.3c, 4.3d, 4.3e y 4.3f se tiene que con el grupo de códec: G.711a, G.711u y G.722 (banda ancha) se adquieren los mejores rendimientos en general. De igual manera con los códec: G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) se cumplen con los valores deseados. En cambio con los códec: GSM, Speex-16 y G726-32 no se cumple en su totalidad con los parámetros necesarios.

4.5.3. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo

Se realizan llamadas reales de prueba como se indica en la figura 4.18a con los 8 códec inicialmente mencionados, habilitado cada uno de ellos en el softphone. Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con IP: 172.16.20.10 de extensión 2444, al teléfono IP fijo con IP: 172.16.20.143 de extensión 2600. (refiérase a la figura 4.9):



Figura 4.18a. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fotografía-Fuente el autor

Se habilita en el softphone el códec determinado, pero teniendo en cuenta que el códec que utilice el teléfono IP fijo es de acuerdo a la configuración indicada en figura 4.3b. Además dependerá si el códec de voz es soportado por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). El códec del softphone puede ser heredado por el teléfono IP fijo siempre que éste esté también disponible en el mismo, caso contrario será recodificado por el servidor de VoIP.

a) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

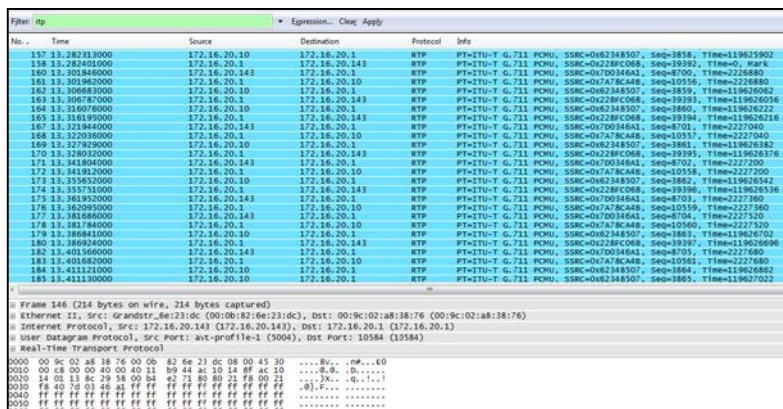


Figura 4.18b. Captura del tráfico RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (172 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (86 kbps) respectivamente

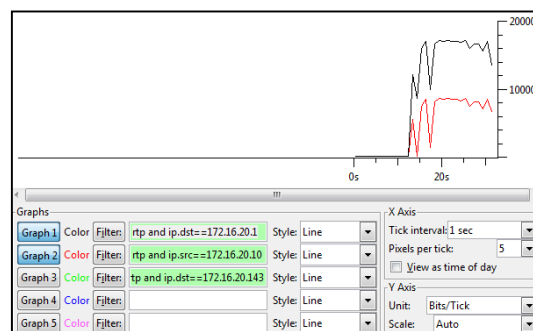


Figura 4.18c. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

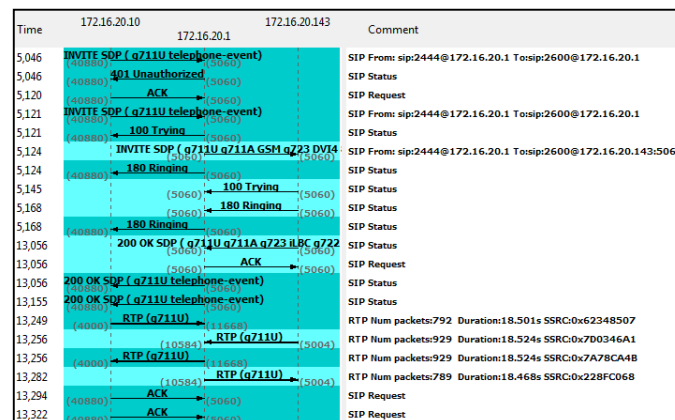


Figura 4.18d. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene: la dirección IP origen y destino, el tipo de códec, latencia, jitter, pérdida de paquetes, indicados en las figuras 4.18e y 4.18f.

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb%
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	11668	0x62348507	ITU-T G.711 PCMA	792	11 (1.4%)	132.66	15.49	11.35 X
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	10504	0x7D0346A1	ITU-T G.711 PCMA	929	0 (0.0%)	21.88	2.07	0.17
172.16.20.1	11668	172.16.20.10	4000	0x7D0346A1	ITU-T G.711 PCMA	929	0 (0.0%)	23.70	2.08	0.18
172.16.20.1	10504	172.16.20.143	5004	0x2085C068	ITU-T G.711 PCMA	789	0 (0.0%)	1274.49	9345377.04	18963.45

Figura 4.18e. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 11668 SSRC = 0x62348507									
Packet #	Sequence #	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status		
2630	4381	17.44	10.96	1.79	81,60		[Ok]		
2632	4382	0.42	11.49	21.37	83,20		[Ok]		
2636	4383	32.85	11.58	8.52	81,60		[Ok]		
2640	4384	17.72	11,00	10,80	80,00		[Ok]		
2646	4385	31.27	11,02	-0,47	80,00		[Ok]		
2648	4386	0.42	11,55	19,10	81,60		[Ok]		
2656	4387	42.75	12,25	-3,65	78,40		[Ok]		

Max delta = 132.66 ms at packet no. 2996
 Max jitter = 15.49 ms. Mean jitter = 11.35 ms.
 Max skew = -61.24 ms.
 Total RTP packets = 803 (expected 803) Lost RTP packets = 11 (1.37%) Sequence errors = 7
 Duration 18.50 s (-1.736 ms clock drift, corresponding to 7880.14 s (-1.49%))

Figura 4.18f. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

b) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

Filter: #0	Exp. Sess. Cl. App. Analy	Protocol	Info		
No. 1886	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63919, TS=2190040
No. 1887	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63920, TS=2190040
No. 1888	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63921, TS=2190040
No. 1889	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63922, TS=2190040
No. 1890	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63923, TS=2190040
No. 1891	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63924, TS=2190040
No. 1892	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63925, TS=2190040
No. 1893	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63926, TS=2190040
No. 1894	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63927, TS=2190040
No. 1895	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63928, TS=2190040
No. 1896	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63929, TS=2190040
No. 1897	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63930, TS=2190040
No. 1898	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63931, TS=2190040
No. 1899	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63932, TS=2190040
No. 1900	Time 1.981198124	Source 172.16.20.143	Destination 172.16.20.1	Protocol RTP	Info PT=110-F G.711 PCMA SSRC=0x0013086C Seq=63933, TS=2190040

Figura 4.19a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (172 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (86 kbps) respectivamente

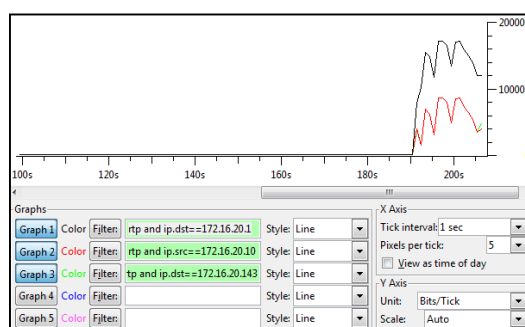


Figura 4.19b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Time	172.16.20.10	172.16.20.1	172.16.20.143	Comment
180.395	INVITE SDP (q711A telephone-event)			SIP From: sip:2444@172.16.20.1 To:sip:2600@172.16.20.1
180.396	401 Unauthorized			SIP Status
180.426	ACK			SIP Request
180.429	INVITE SDP (q711A telephone-event)			SIP From: sip:2444@172.16.20.1 To:sip:2600@172.16.20.1
180.429	100 Trying			SIP Status
180.432	INVITE SDP (q711A GSM q711U q723 ILBC q722)			SIP From: sip:2444@172.16.20.1 To:sip:2600@172.16.20.1:5060
180.432	180 Ringing			SIP Status
180.454	100 Trying			SIP Status
180.474	180 Ringing			SIP Status
180.475	180 Ringing			SIP Status
191.346	200 OK SDP (q711A q711U q723 ILBC q722)			SIP Status
191.346	ACK			SIP Request
191.346	200 OK SDP (q711A telephone-event)			SIP Status
191.446	200 OK SDP (q711A telephone-event)			SIP Status
191.540	RTP (q711A)			RTP Num packets:554 Duration:14.901s SSRC:0x464C931F
191.554	RTP (q711A)			RTP Num packets:763 Duration:15.237s SSRC:0x4015DDE2
191.554	RTP (q711A)			RTP Num packets:744 Duration:14.859s SSRC:0x4FE28FAB
191.569	RTP (q711A)			RTP Num packets:549 Duration:14.818s SSRC:0x3634D209
191.579	ACK			SIP Request
191.606	ACK			SIP Request
206.423	BYE			SIP Request
206.423	200 OK			SIP Status
206.614	BYE			SIP Request
206.628	200 OK			SIP Status

Figura 4.19c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb1
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	11522	0x401500E2	ITU-T G.711 PCMA	763	0 (0.0%)	21,74	0,49	0,17	X
172.16.20.1	17346	172.16.20.10	4000	0x4FE28FAB	ITU-T G.711 PCMA	744	0 (0.0%)	21,76	0,48	0,17	X
172.16.20.1	11522	172.16.20.143	5004	0x3694D209	ITU-T G.711 PCMA	549	0 (0.0%)	1000,70	922513,52	268762,03	X

Figura 4.19d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 17346 SSRC = 0x464C931F							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
2991	12641	0,67	10,70	11,65	81,60		[Ok]
2995	12642	19,73	10,05	11,92	80,00		[Ok]
3004	12643	27,02	9,86	4,90	81,60		[Ok]
3009	12644	31,89	9,99	-6,99	80,00		[Ok]
3011	12645	0,41	10,59	12,60	81,60		[Ok]
3017	12646	39,74	11,16	-7,14	80,00		[Ok]
3021	12647	17,87	10,59	-5,01	81,60		[Ok]

Max delta = 50,38 ms at packet no. 4556
 Max jitter = 14,12 ms. Mean jitter = 11,25 ms.
 Max skew = -27,19 ms.
 Total RTP packets = 554 (expected 554) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 14.90 s (-11682 ms clock drift, corresponding to 1729 Hz (-78.99%))

Figura 4.19e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

c) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
114	8.708147000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x467A4E8D, Seq=42884, Time=2513120
115	8.708228000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x128CA14, Seq=11509, Time=2003279621
116	8.708302000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x21A34D48, Seq=58126, Time=2003279616
117	8.708352000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x71638588, Seq=17668, Time=2003279616
118	8.709350000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x128CA14, Seq=11510, Time=2003279781
119	8.709350000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x71638588, Seq=17669, Time=2003279776
120	8.727586000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x467A4E8D, Seq=42885, Time=2513280
121	8.727727000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x21A34D48, Seq=58129, Time=2003279816
122	8.738930000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x128CA14, Seq=11511, Time=2003279941
123	8.739005000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x71638588, Seq=17670, Time=2003279916
124	8.747238000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x467A4E8D, Seq=42886, Time=2513440
125	8.747397000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x21A34D48, Seq=58130, Time=2003280416
126	8.767222000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x467A4E8D, Seq=42887, Time=2513600
127	8.767369000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x21A34D48, Seq=58131, Time=2003280600
128	8.772581000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x128CA14, Seq=11512, Time=2003280101
129	8.772687000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x71638588, Seq=17671, Time=2003280096
130	8.773137000	172.16.20.1	172.16.20.1	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x128CA14, Seq=11513, Time=2003280101
131	8.773236000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x71638588, Seq=17672, Time=2003280256
132	8.787276000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x467A4E8D, Seq=42888, Time=2513760
133	8.787401000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x21A34D48, Seq=58132, Time=2003280416
134	8.806434000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x71638588, Seq=17673, Time=2003280416
136	8.808200000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x467A4E8D, Seq=42889, Time=2513920
139	8.808350000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x21A34D48, Seq=58133, Time=2003280416
140	8.825023000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x467A4E8D, Seq=42890, Time=2514080
141	8.825132000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GSM 06.10, SSRC=0x21A34D48, Seq=58134, Time=2003280600

Figura 4.20a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec GSM y el teléfono IP fijo canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec GSM y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (122 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (35 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (87 kbps)

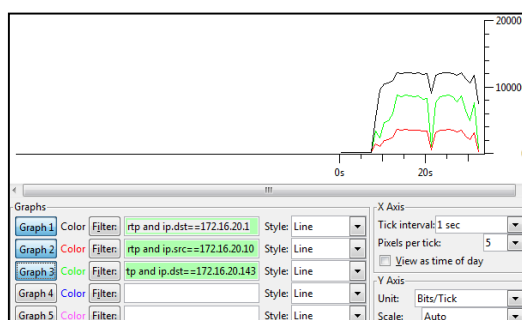


Figura 4.20b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.20c. Establecimiento de la llamada SIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pkt?
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	13774	0x46744E8D	ITU-T G.711 PCMA	1211	0 (0.0%)	24.43	1.10	0.24	
172.16.20.1	15936	186.5.81.178	4000	0x21A304A8	GSM 06.10	2	0 (0.0%)	19.36	0.04	0.32	
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	15936	0x128ECA14	GSM 06.10	973	0 (0.0%)	45.49	13.96	10.91	
172.16.20.1	15936	172.16.20.10	4000	0x21A304A8	GSM 06.10	1193	0 (0.0%)	24.43	1.09	0.25	
172.16.20.1	13774	172.16.20.143	5004	0x71684988	ITU-T G.711 PCMA	973	0 (0.0%)	1188.42	13.96	10.90	

Figura 4.20d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 15936 SSRC = 0x128ECA14							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1776	11852	17,27	10,69	-0,28	30,37		[Ok]
1780	11853	22,90	10,20	-3,17	29,78		[Ok]
1784	11854	0,56	10,78	16,26	30,37		[Ok]
1788	11855	38,74	11,28	-2,48	29,78		[Ok]
1792	11856	7,63	11,35	9,90	30,37		[Ok]
1796	11857	32,63	11,43	-2,73	29,78		[Ok]
1800	11858	0,94	11,90	16,33	29,78		[Ok]

Max delta = 45,49 ms at packet no. 4179
 Max jitter = 13,96 ms. Mean jitter = 10,91 ms.
 Max skew = -25,26 ms.
 Total RTP packets = 973 (expected 973) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 23,85 s (-106 ms clock drift, corresponding to 7964 Hz (-0,45%))

Figura 4.20e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
2138	11.009760000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7f6059e2, Seq=9051, Time=999967175
2139	11.009830000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x21A303E1, Seq=13930, Time=999967168
2147	11.019990000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2758A547, Seq=47065, Time=2920960, Mark
2148	11.040087000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x681428B9, Seq=15997, Time=2920960, Mark
2151	11.051884000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7f6059e2, Seq=9052, Time=999967155
2152	11.051994000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x21A303E1, Seq=13951, Time=999967328
2155	11.060220000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2758A547, Seq=47070, Time=2921120
2156	11.060338000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x681428B9, Seq=15998, Time=2921120
2159	11.076478000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7f6059e2, Seq=9053, Time=999967495
2160	11.076590000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x21A303E1, Seq=13952, Time=999967488
2163	11.079878000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2758A547, Seq=47071, Time=2921280
2164	11.079990000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x681428B9, Seq=15999, Time=2921280
2165	11.080170000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7f6059e2, Seq=9054, Time=999967655
2166	11.080198000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x21A303E1, Seq=13953, Time=999967648
2171	11.099834000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2758A547, Seq=47072, Time=2921440
2172	11.099942000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x681428B9, Seq=16000, Time=2921440
2175	11.110732000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7f6059e2, Seq=9055, Time=999967815
2176	11.110840000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x21A303E1, Seq=13954, Time=999967608
2179	11.119827000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2758A547, Seq=47073, Time=2921600
2180	11.119912000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x681428B9, Seq=16001, Time=2921600
2183	11.128879000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7f6059e2, Seq=9056, Time=999967975
2184	11.128982000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x21A303E1, Seq=13955, Time=999967968
2187	11.139830000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2758A547, Seq=47074, Time=2921760
2188	11.139958000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x681428B9, Seq=16002, Time=2921760
2193	11.159737000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2758A547, Seq=47075, Time=2921920
2194	11.159834000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x681428B9, Seq=16003, Time=2921920

Figura 4.21a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (170 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (85 kbps) respectivamente

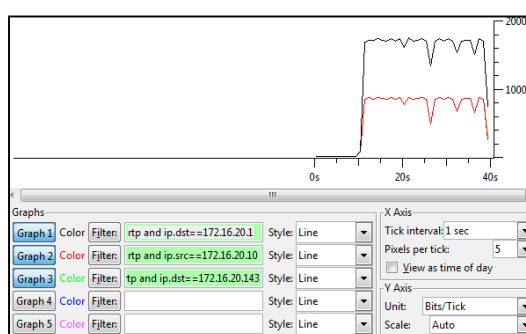


Figura 4.21b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Time	172.16.20.10	172.16.20.1	172.16.20.143	Comment
6,947				SIP From: sip:2444@172.16.20.1 To:sip:2600@172.16.20.1
6,947	(48478) INVITE SDP (q722 telephone-event)	(5060)		SIP Status
6,976	(48478) 401 Unauthorized	(5060)		SIP Request
6,976			(5060) ACK	
6,981	(48478) INVITE SDP (q722 telephone-event)	(5060)		SIP From: sip:2444@172.16.20.1 To:sip:2600@172.16.20.1
6,986	(48478) 100 Trying	(5060)		SIP Status
6,986			(5060) INVITE SDP (q722 q711A GSM q711U q723 ILBC)	SIP From: sip:2444@172.16.20.1 To:sip:2600@172.16.20.143:5060
6,986	(48478) 180 Ringing	(5060)		SIP Status
7,008			(5060) 100 Trying	SIP Status
7,076			(5060) 180 Ringing	SIP Status
7,077	(48478) 180 Ringing	(5060)		SIP Status
10,759			(5060) 200 OK SDP (q722 q711A q711U q723 ILBC)	SIP Status
10,759			(5060) ACK	SIP Request
10,759	(4002) 200 OK SDP (q722 telephone-event)	(5060)		SIP Status
10,859	(48478) 200 OK SDP (q722 telephone-event)	(5060)		SIP Status
10,918	(4002) RTP (q722)	(14070)	(5004)	RTP Num packets:1370 Duration:28.354s SSRC:0x7F6059E2
10,932			(5004) RTP (q722)	RTP Num packets:1365 Duration:28.319s SSRC:0x21A303EE
10,951	(48478) ACK	(5060)		SIP Request
11,012	(48478) ACK	(5060)		SIP Request
11,040	(4002) RTP (q722)	(14070)	(5004)	RTP Num packets:1423 Duration:28.438s SSRC:0x2758A547
11,040			(5004) RTP (q722)	RTP Num packets:1412 Duration:28.218s SSRC:0x68142889
39,269	(48478) BYE	(5060)		SIP Request
39,270	(48478) 200 OK	(5060)		SIP Status
39,359			(5060) BYE	SIP Request
39,415			(5060) 200 OK	SIP Status

Figura 4.21c. Establecimiento de la llamada SIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb/
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	12438	0x7f6059e2	ITU-T G.722	1370	1 (0,1%)	46,71	12,97	10,64	X
172.16.20.1	14070	172.16.20.143	5004	0x21a301e8	ITU-T G.722	1365	0 (0,0%)	49,18	781220,11	91362,65	X
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	14070	0x275b4547	ITU-T G.722	1423	0 (0,0%)	24,01	0,52	0,20	X
172.16.20.1	12438	172.16.20.10	4002	0x68142889	ITU-T G.722	1412	0 (0,0%)	24,00	0,63	0,20	X

Figura 4.21d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4002 to 172.16.20.1 port 12438 SSRC = 0x7f6059e2						
Packet #	Sequence #	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Status
4381	9297	14,14	9,63	11,36	80,00	[Ok]
4391	9298	23,65	9,26	7,71	81,60	[Ok]
4393	9299	0,58	9,89	27,13	83,20	[Ok]
4403	9300	28,20	9,79	18,92	80,00	[Ok]
4409	9301	14,07	9,55	24,86	80,00	[Ok]
4424	9302	37,85	10,07	7,01	80,00	[Ok]
4426	9303	0,40	10,66	26,60	81,60	[Ok]

Max delta = 46,71 ms at packet no. 8542
 Max jitter = 12,97 ms. Mean jitter = 10,64 ms.
 Max skew = 28,10 ms.
 Total RTP packets = 1371 (expected 1371) Lost RTP packets = 1 (0,07%) Sequence errors = 1
 Duration 28,35 s (-84 ms clock drift, corresponding to 7976 Hz (-0,30%))

Figura 4.21e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

e) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
139	12.278819000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x49917098, Seq=54906, Time=31489440
140	12.279925000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x273645AA, Seq=64776, Time=31484640
141	12.280110000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x26389FA4, Seq=10488, Time=577980212
142	12.280180000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x754F4FEE, Seq=24979, Time=577980212
144	12.289900000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x49917098, Seq=54907, Time=31496000
145	12.300090000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x273645AA, Seq=64771, Time=31496000
146	12.310579000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x26389FA4, Seq=10489, Time=577980392
147	12.310690000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x754F4FEE, Seq=24979, Time=577980392
148	12.319993000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x49917098, Seq=54908, Time=31497600
149	12.320101000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x273645AA, Seq=64772, Time=31497600
151	12.323215000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x26389FA4, Seq=10490, Time=577980552
153	12.312130000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x26389FA4, Seq=10491, Time=577980712
153	12.312425000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x754F4FEE, Seq=24980, Time=577980552
154	12.312479000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x754F4FEE, Seq=24981, Time=577980712
155	12.319806000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x49917098, Seq=54909, Time=31499200
156	12.319897000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x273645AA, Seq=64773, Time=31499200
157	12.319957000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x49917098, Seq=54910, Time=31500800
158	12.319963000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x273645AA, Seq=64774, Time=31500800
159	12.360625000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x26389FA4, Seq=10492, Time=577980872
160	12.360722000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x754F4FEE, Seq=24982, Time=577980872
161	12.379519000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x49917098, Seq=54911, Time=31502400
161	12.379618000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x273645AA, Seq=64775, Time=31502400
161	12.393983000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x26389FA4, Seq=10493, Time=577981032
164	12.396073000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x754F4FEE, Seq=24983, Time=577981032
165	12.399523000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x49917098, Seq=54912, Time=31504000
166	12.399625000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x273645AA, Seq=64776, Time=31504000

Filter: rtp
 Ethernet II, Src: 00:9c:02:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Grandstr_6e:23:dc (00:0b:82:6e:23:dc)
 Internet Protocol, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.143 (172.16.20.143)
 User Datagram Protocol, Src Port: 11282 (11282), Dst Port: avt-profile-1 (5004)
 Real-time Transport Protocol
 0000 00 0b 82 6e 23 dc 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ...mp...Bv..E.
 0010 00 3c 00 00 40 00 11 b9 48 ac 10 14 01 ac 10 ...<.9.B..M...:
 0020 14 af 3c 12 13 6c 00 28 e8 03 80 92 01 90 27 73 ...:..+..k..9
 0030 46 08 75 4f 4f ee 78 52 80 a0 00 fa c2 00 07 d6 F..000..Xr
 0040 78 3a 40 a0 00 fa c2 00 07 d6 Xr.....

Figura 4.22a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (60 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (30 kbps) respectivamente

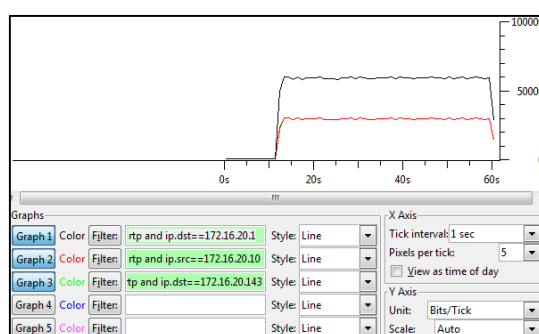


Figura 4.22b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

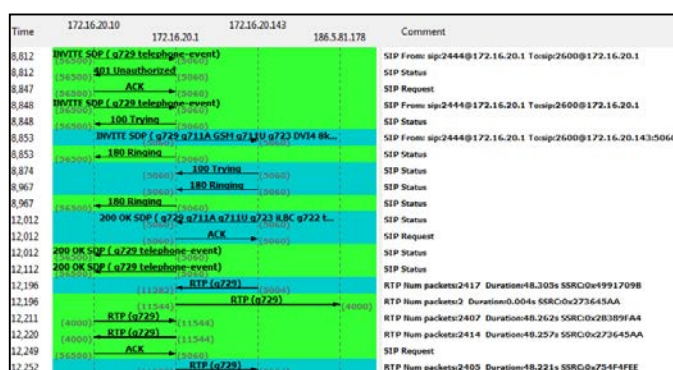


Figura 4.22c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Play?
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	11282	0x49917098	TU-T-G.729	2417	0 (0,0%)	24,53	0,97	0,20	X
172.16.20.1	11544	186.5.81.178	4000	0x279645AA	TU-T-G.729	2	0 (0,0%)	4,53	0,97	2,73	X
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	11544	0x28389FA4	TU-T-G.729	2607	7 (0,3%)	61,52	11,00	11,00	X
172.16.20.1	11544	172.16.20.10	4000	0x739455AA	TU-T-G.729	2414	0 (0,0%)	24,57	0,69	0,19	X
172.16.20.1	11282	172.16.20.143	5004	0x544F4FEE	TU-T-G.729	2405	0 (0,0%)	61,54	13,98	10,99	X

Figura 4.22d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 11544 SSRC = 0x28389FA4							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1613	10839	30,28	12,90	-21,26	24,00		[Ok]
1617	10840	24,95	12,40	-26,21	24,00		[Ok]
1618	10841	0,02	12,88	-6,23	24,48		[Ok]
1625	10842	28,14	12,58	-14,36	24,48		[Ok]
1629	10843	29,30	12,37	-23,66	24,00		[Ok]
1633	10844	12,80	12,05	-16,46	24,48		[Ok]
1638	10845	27,21	11,75	-23,67	24,00		[Ok]

Max delta = 61,52 ms at packet no. 2932
 Max jitter = 13,98 ms. Mean jitter = 11,00 ms.
 Max skew = -40,92 ms.
 Total RTP packets = 2414 (expected 2414) Lost RTP packets = 7 (0,29%) Sequence errors = 7
 Duration 48,26 s (-44 ms clock drift, corresponding to 7993 Hz (-0,09%))

Figura 4.22e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

f) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
201	17.547709000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26063, Time=1280
202	17.547903000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x478D7D9C, Seq=1443, Time=1280
203	17.562860000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x24FFD264, Seq=13495, Time=800
204	17.566948000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x24FFD264, Seq=13496, Time=960
205	17.566990000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x3A29A8AF, Seq=63012, Time=672
206	17.567948000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26064, Time=1440
207	17.568190000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x478D7D9C, Seq=1444, Time=1440
208	17.575855000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x24FFD264, Seq=13497, Time=1120
209	17.587458000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26065, Time=1600
210	17.587656000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x478D7D9C, Seq=1445, Time=1600
211	17.606371000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x24FFD264, Seq=13498, Time=1280
212	17.606313000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x3A29A8AF, Seq=63013, Time=992
213	17.607838000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x24FFD264, Seq=13499, Time=1440
214	17.608074000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26066, Time=1760
215	17.608276000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x478D7D9C, Seq=1446, Time=1760
216	17.627456000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26057, Time=1920
217	17.627638000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x478D7D9C, Seq=1447, Time=1920
219	17.633779000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x24FFD264, Seq=13500, Time=1600
220	17.635926000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x3A29A8AF, Seq=63014, Time=1312
221	17.647490000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26066, Time=2080
222	17.647684000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x478D7D9C, Seq=1448, Time=2080
223	17.667317000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26069, Time=2240
224	17.667523000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x478D7D9C, Seq=1449, Time=2240
225	17.670876000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=G.726-32, SSRC=0x24FFD264, Seq=13501, Time=1760
226	17.671029000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x3A29A8AF, Seq=63015, Time=1760
227	17.687346000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	PT=AL2-G.726-32, SSRC=0x4577837, Seq=26070, Time=2400

Frame 187 (134 bytes on wire, 134 bytes captured)
 Ethernet II, Src: 00:19:c2:a8:38:76 (00:19:c2:a8:38:76), Dst: F4:09:d8:6a:c1:99 (F4:09:d8:6a:c1:99)
 Internet Protocol, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.10 (172.16.20.10)
 User Datagram Protocol, Src Port: 18056 (18056), Dst Port: pxx-spr-ft (4002)
 Real-time Transport Protocol

```

0000  f4 08 d8 6a c1 99 00 9c 02 38 38 76 08 00 45 b8  ....8.....8v...
0010  00 78 00 00 00 00 00 11 b9 91 ac 10 14 01 ac 10  ..x.0.0.....
0020  14 0a 46 88 0f a2 00 64 16 99 80 73 05 9f 00 00  ..F...d.....
0030  02 80 47 8d fd 9c 1e 1e b1 1f ef 31 13 ef 1c c1  ..G...G.....
0040  ec dl 2d 2e dc dl ef 24 2d be d2 e2 ef al d2 ef  .....3.....
0050  f1 ee f1 1e eb 2d 1b 2e 2e 2e 31 d1 ed 3c  .....:.....
0060  c1 1f e1 33 11 ef ee ed ec dl fd be 0f ef 8c dl
    
```

Figura 4.23a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (108 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (54 kbps) respectivamente

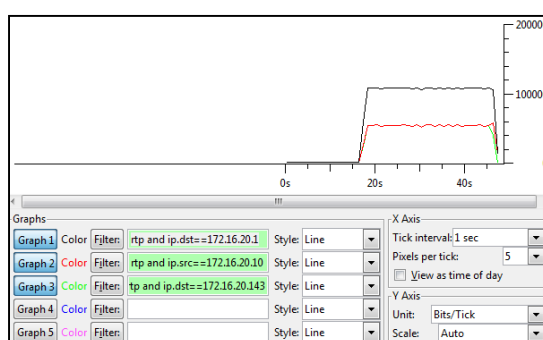


Figura 4.23b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Time	172.16.20.10	172.16.20.1	172.16.20.143	Comment
14,271				INVITE SDP (G726-32 telephone-event)
14,272				401 Unauthorized
14,291				ACK
14,291				INVITE SDP (G726-32 telephone-event)
14,292				100 Trying
14,295				INVITE SDP (G726-32 g711A GSM g711U g7
14,295				180 Ringing
14,321				100 Trying
14,343				180 Ringing
14,343				180 Ringing
17,185				200 OK SDP (G726-32 g711A g711U g723 A
17,185				ACK
17,185				200 OK SDP (G726-32 telephone-event)
17,284				200 OK SDP (G726-32 telephone-event)
17,386				RTP (AAL2-G726-32)
17,386				RTP (G726-32)
17,484				RTP (G726-32)
17,484				200 OK SDP (G726-32 telephone-event)
17,490				RTP (G726-32)
17,490				RTP (AAL2-G726-32)
17,749				ACK
17,764				ACK
17,764				ACK
46,725				BYE
46,726				200 OK

Figura 4.23c. Establecimiento de la llamada SIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pk?
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	19840	0x457837	AA12-G726-32	1476	0 (0.0%)	0.00	0.00	0.00	X
172.16.20.1	18056	172.16.20.10	4002	0x47807D9C	G726-32	1467	0 (0.0%)	23.69	1.15	0.25	X
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	18056	0x4FFD264	G726-32	1486	0 (0.0%)	59.85	14.18	10.80	X
172.16.20.1	19840	172.16.20.143	5004	0x5A23A8AF	AA13-G726-32	1459	0 (0.0%)	0.00	0.00	0.00	X

Figura 4.23d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4002 to 172.16.20.1 port 18056 SSRC = 0x24FFD264							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Slews(ms)	IP Bw(kbps)	Marker	Status
1378	13771	20.95	10.05	10.01	48.00		[Ok]
1383	13772	22.30	9.57	7.71	48.00		[Ok]
1385	13773	2.24	10.08	25.48	48.96		[Ok]
1394	13774	30.04	10.08	15.44	48.00		[Ok]
1396	13775	12.27	9.93	23.16	48.96		[Ok]
1402	13776	27.59	9.79	15.57	48.00		[Ok]
1404	13777	5.06	10.11	30.51	48.96		[Ok]

Max delta = 59.85 ms at packet no. 733
 Max jitter = 14.18 ms. Mean jitter = 10.80 ms.
 Max slews = 41.29 ms.
 Total RTP packets = 1486 (expected 1486) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 29.67 s (-157 ms clock drift, corresponding to 7988 Hz (-0.53%))

Figura 4.23e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

g) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2445	31.258729000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x187A53D0, Seq=1639, Time=669241316
2446	31.261881000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x7F823594, Seq=17842, Time=669241497
2447	31.262037000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x187A53D0, Seq=1640, Time=669241496
2450	31.278177000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23767, Time=315520
2451	31.278393000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x650C8D78, Seq=12955, Time=315520
2453	31.294101000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23768, Time=315680
2454	31.294137000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x650C8D78, Seq=12955, Time=315680
2455	31.302479000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x7F823594, Seq=17843, Time=669241657
2456	31.302633000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x187A53D0, Seq=1641, Time=669241656
2457	31.314289000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23769, Time=315840
2458	31.314505000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x650C8D78, Seq=12955, Time=315840
2462	31.314279000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23770, Time=316000
2463	31.314495000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	70	PT=Speex, SSRC=0x650C8D78, Seq=12955, Time=316000
2464	31.330233000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	70	PT=Speex, SSRC=0x7F823594, Seq=17844, Time=669241817
2465	31.338395000	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x187A53D0, Seq=1642, Time=669241816
2466	31.358071000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23771, Time=316160
2467	31.358265000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	70	PT=Speex, SSRC=0x650C8D78, Seq=12960, Time=316160
2468	31.374294000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23772, Time=316320
2469	31.374443000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	70	PT=Speex, SSRC=0x650C8D78, Seq=12961, Time=316320
2470	31.394193000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23773, Time=316480
2471	31.394385000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	70	PT=Speex, SSRC=0x650C8D78, Seq=12962, Time=316480
2472	31.414175000	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x296FF81, Seq=23774, Time=316640

Figura 4.24a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec Speex-16 y el teléfono IP fijo canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec Speex-16 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (117 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (32 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (85 kbps)

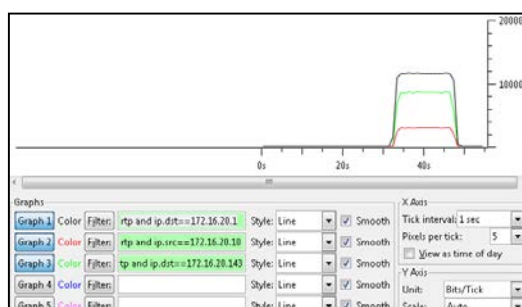


Figura 4.24b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

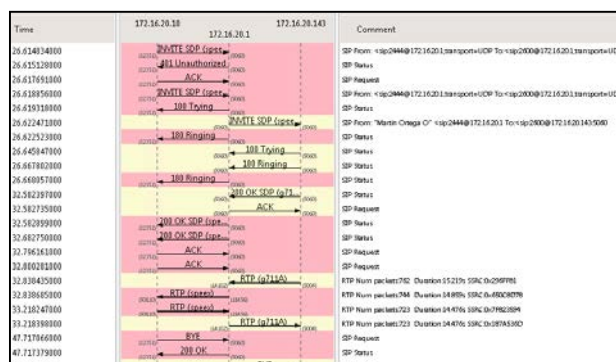


Figura 4.24c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	18456	172.16.20.10	50810	0x650C8D78	speex	744	0 (0,0%)
172.16.20.1	14102	172.16.20.143	5004	0x187A536D	g711A	723	0 (0,0%)
172.16.20.10	50810	172.16.20.1	18456	0x7F823594	speex	723	0 (0,0%)
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	14102	0x296FF81	g711A	762	0 (0,0%)

Figura 4.24d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analyzing stream from 172.16.20.10 port 50810 to 172.16.20.1 port 18456 SSRC = 0x7F823594							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
4177	18134	20,74	12,11	4,71	24,89	[Ok]	
4181	18135	24,24	11,61	0,47	24,40	[Ok]	
4185	18136	2,90	11,96	17,58	24,89	[Ok]	
4191	18137	41,16	12,53	-3,50	24,40	[Ok]	
4193	18138	1,90	12,88	14,52	24,89	[Ok]	
4197	18139	21,24	12,15	13,28	25,38	[Ok]	
4204	18140	28,70	12,00	3,50	24,89	[Ok]	
4210	18141	30,74	11,92	-7,16	24,40	[Ok]	

Max delta = 126,73 ms at packet no. 2479
 Max jitter = 21,20 ms. Mean jitter = 10,89 ms.
 Max skew = 161,90 ms.
 Total RTP packets = 723 (expected 723) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration: 14,48 s (-1,175 ms elapsed, 60% corresponding to 7281 lib (-1,510%)

Figura 4.24e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

h) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
5322	25,7798820	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	104	PT=dynamiCTP-Type=97, SSRC=0x10E8BA7E, Seq=48434, TIme=1731825300
5323	25,7829280	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29666, TIme=309360
5324	25,7830680	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x186E8158, Seq=32037, TIme=309360
5326	25,8328890	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29667, TIme=309600
5327	25,8330310	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x186E8158, Seq=32038, TIme=309600
5328	25,8349140	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x6A8F0821, Seq=7552, TIme=1731825600
5329	25,8350470	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	104	PT=dynamiCTP-Type=97, SSRC=0x10E8BA7E, Seq=48435, TIme=1731825600
5332	25,8411220	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29668, TIme=309840
5333	25,8432570	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x186E8158, Seq=32039, TIme=309840
5334	25,8548210	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x6A8F0821, Seq=7553, TIme=1731825840
5335	25,8549470	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	104	PT=dynamiCTP-Type=97, SSRC=0x10E8BA7E, Seq=48436, TIme=1731825840
5336	25,8557820	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x6A8F0821, Seq=7554, TIme=1731826080
5337	25,8559130	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	104	PT=dynamiCTP-Type=97, SSRC=0x10E8BA7C, Seq=48437, TIme=1731826080
5340	25,8731220	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29669, TIme=310080
5341	25,8931040	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29670, TIme=310320
5349	25,9331240	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29671, TIme=310560
5355	25,9628740	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29672, TIme=310800
5365	25,9935260	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29673, TIme=311040
5367	26,0228980	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29674, TIme=311280
5379	26,0531520	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29675, TIme=311520
5383	26,0831160	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0xF3F31F7, Seq=29676, TIme=311760

Figura 4.25a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (58 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (29 kbps) respectivamente

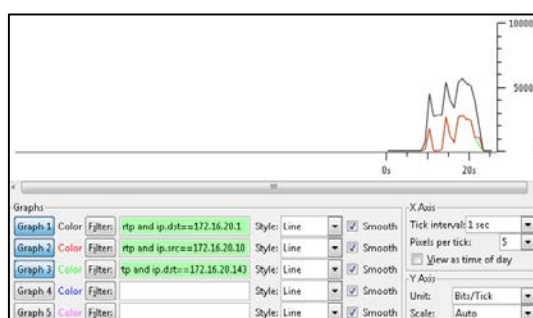


Figura 4.25b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

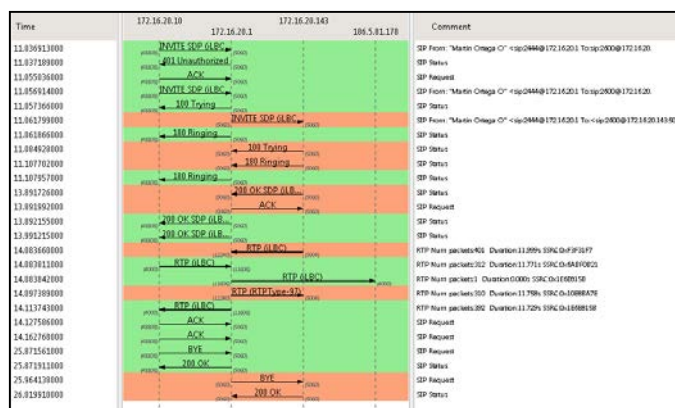


Figura 4.25c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	14612	186.5.81.178	4000	0x1D93A915	iLBC	2	0 (0,0%)
172.16.20.1	14612	172.16.20.10	4000	0x1D93A915	iLBC	408	0 (0,0%)
172.16.20.1	16574	172.16.20.143	5004	0x48CC4511	iLBC	221	0 (0,0%)
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	14612	0x47ACA615	iLBC	229	0 (0,0%)
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	16574	0x23495CE4	iLBC	414	0 (0,0%)

Figura 4.25d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Analyzing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 14612 SSRC = 0x47ACA615							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
861	4591	30,23	16,47	-5,74	23,76		[Ok]
865	4592	29,00	15,50	-4,74	24,48		[Ok]
869	4593	31,99	14,66	-6,73	24,48		[Ok]
873	4594	21,62	14,27	1,65	24,48		[Ok]
877	4595	37,88	13,87	-6,23	24,48		[Ok]
881	4596	28,98	12,07	-5,21	24,48		[Ok]
889	4597	49,02	12,49	-25,03	23,76		[Ok]
891	4598	2,42	14,37	2,55	24,48		[Ok]
---	----	---	----	---	---		---
Max delta = 91,58 ms at packet no. 76							
Max jitter = 18,88 ms. Mean jitter = 13,10 ms.							
Max skew = -70,54 ms.							
Total RTP packets = 229 (expected 229) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0							
Duration: 12,43 s (-364 ms clock drift, synchronization to 7597 Hz (-6,16%))							

Figura 4.25e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

4.5.4. Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo

Obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.4.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP.

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio									
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	86	86	172	132,66	15,49	1,37	803	5	Excelente
G.711a	214	86	86	172	50,38	14,12	0	554	5	Excelente
GSM	87	35	87	122	45,49	13,36	0	973	4	Un poco de ruido
G.722	214	85	85	170	46,71	12,97	0,07	1371	5	Excelente
G.729	74	30	30	60	61,52	13,98	0,29	2414	4.5	Un poco de ruido
G.726-32	134	54	54	108	59,85	14,18	0	1486	3	Se corta la comunicación
Speex-16	75	32	85	117	126,73	21,1	0	723	4	Con ruido
iLBC-13.33	104	29	29	58	91,58	18,08	0	229	4	Un poco de ruido

Tabla 4.4. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada de VoIP en éste caso con el protocolo SIP es cercano a la suma de los valores teóricos (véase capítulo 3) de los anchos de banda que manejan los códecs en cada canal, considerando que se necesitan dos canales para establecer la comunicación. Por lo tanto se establece éste subescenario también como muy próximo a un escenario ideal. De ésta manera se tiene el tamaño real de los códecs de voz, su ancho de banda, PPS y MOS, como se indica en la tabla 4.5a, la cual es similar a la tabla 4.3a anteriormente indicada. Se realiza una comparación de los valores prácticos y teóricos de los códecs de voz. Para cada trama RTP que incluye al códec respectivo se resta el tamaño de su cabecera (12 bytes \cong 5 kbps).

código	Valores teóricos de los códecs de voz				Valores prácticos reales de los códecs de voz - prueba de laboratorio				
	Tamaño de una trama RTP calculado o tamaño del código sin cabecera (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP (kbps)	PPS basado en el Frame Size	MOS 1 a 5	Tamaño de una trama RTP sin cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP, canal origen de la llamada de VoIP (kbps)	PPS calculado basado en el Frame Size (véase capítulo 3)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	160	64	50	4.3	202	81	50,12	5	Excelente
G.711a	160	64	50	4.3	202	81	50,12	5	Excelente
GSM	33	13	50	3.5	75	30	50	4	Un poco de ruido
G.722	160	64	50	4.1 a 4.5	202	80	49,50	5	Excelente
G.729	20	8	50	4	62	25	50,4	4.5	Un poco de ruido
G.726-32	80	32	50	4	122	49	50,20	3	Se corta la comunicación
Speex-16	40	16	50	3.78	63	27	53,57	4	Con ruido
iLBC-13.33	50	13,33	33,33	3.74 a 4.14	92	24	32,61	4	Un poco de ruido

Tabla 4.5a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

Se puede apreciar que con los códecs: G.711a, G.711u y G.722 se tiene un mayor ancho de banda (en un canal de la llamada de VoIP con protocolo SIP) y un menor ancho de banda con los códecs: GSM, Speex-16, G.729 e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio, similar a la tabla 4.3b, como se indica en la tabla 4.5b.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.711a	86	Mayor
G.711u	86	Mayor
G.722	85	Mayor
G.726-32	54	Intermedio
GSM	35	Menor
Speex-16	32	Menor
G.729	30	Menor
iLBC-13.33	29	Menor

Tabla 4.5b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

Al comparar las latencias en una trama RTP, con el códec GSM se obtiene el menor valor en cambio con el G.711u se tiene una alta latencia. Si se compara con el valor teórico se observa que con todos los códec se está cumpliendo con este parámetro. Como se indica en la tabla 4.5c.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
GSM	45,49	SI
G.722	46,71	SI
G.711a	50,38	SI
G.726-32	59,85	SI
G.729	61,52	SI
iLBC-13.33	91,58	SI
Speex-16	126,73	SI
G.711u	132,66	SI

Tabla 4.5c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con el códec G.722 seguido del GSM se obtienen valores bajos y con el Speex-16 todo lo contrario. Teniendo en cuenta que con todos los códecs si se cumple con el valor de menos de 100 ms. Como se indica en la tabla 4.5d.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
G.722	12,97	SI
GSM	13,36	SI
G.729	13,98	SI
G.711a	14,12	SI
G.726-32	14,18	SI
G.711u	15,49	SI
iLBC-13.33	18.08	SI
Speex-16	21,1	SI

Tabla 4.5d. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

Con el códec G.711u se presenta en la trama RTP una pérdida de paquetes un poco mayor al 1 %, con el resto de códecs se está dentro de lo establecido, como se observa en la tabla 4.5e.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
G.711u	1,37	NO
G.729	0,29	SI
G.722	0,07	SI
G.711a	0	SI
GSM	0	SI
G.726-32	0	SI
Speex-16	0	SI
iLBC-13.33	0	SI

Tabla 4.5e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. Se identifica que los mejores resultados son con los códecs: G.711u, G.711a y G.722, siendo el rendimiento más bajo con el G.726-32, como se indica en la tabla 4.5f.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
G.711u	5	Excelente
G.711a	5	Excelente
G.722	5	Excelente
G.729	4.5	Un poco de ruido
GSM	4	Un poco de ruido
Speex-16	4	Con ruido
iLBC-13.33	4	Un poco de ruido
G.726-32	3	Se corta la comunicación

Tabla 4.5f. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo.

Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.5c, 4.5d, 4.5e y 4.5f se tiene que con el grupo de códecs: G.711a y G.722 (banda ancha) se obtienen mejores rendimientos en general. De igual manera con los códecs: GSM, G.729, iLBC-13.33 y Speex-16 (banda angosta) también se cumplen con los valores deseados. Para con los códecs: G726-32 y G.711u no se cumplen en su totalidad con los parámetros necesarios.

4.5.5. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN

Se realizan llamadas reales de prueba como se indica en a figura 4.26a, con los 8 códec nuevamente, habilitando cada uno de ellos en el softphone. Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con IP: 172.16.20.10 de

extensión 2444, a un teléfono de la PSTN, teniendo en cuenta que la llamada sale a través del Gateway PSTN GrandStream GXW4104 de IP: 172.16.20.2 y éste se conecta a la PSTN al número 2240-XXX (refiérase la figura 4.9).



Figura 4.26a. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fotografía-Fuente el autor

Se habilita en el softphone el códec de voz determinado, pero teniendo en cuenta que el códec que utilice el Gateway PSTN es de acuerdo a la configuración indicada en figura 4.3c. Además dependerá si el códec es soportado por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). El códec del softphone puede ser heredado por el Gateway PSTN siempre que éste esté también disponible en el mismo, caso contrario será recodificado por el servidor VoIP.

a) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
166	6.270210000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x089C9281, Seq=15028, Time=0102059691
170	6.270241000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x118840F0, Seq=17781, Time=0, Part
172	6.272316000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x050EF28F, Seq=15029, Time=0102059833
174	6.276308000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x028FFD509, Seq=16923, Time=01481592
176	6.291084000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x050EF28F, Seq=15030, Time=0102060013
178	6.296168000	172.16.20.1	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x089C9281, Seq=15030, Time=01481755
180	6.316449000	172.16.20.2	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x089C9281, Seq=16924, Time=01481752
182	6.320850000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x089C9281, Seq=18381, Time=01481915
184	6.330209000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x118840F0, Seq=17784, Time=0
186	6.338214000	172.16.20.2	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x089C9281, Seq=18382, Time=01482075
188	6.358285000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x028FFD509, Seq=16926, Time=01482072
190	6.376432000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x089C9281, Seq=18383, Time=01482215
192	6.376516000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x028FFD509, Seq=16927, Time=01482212

Figura 4.26b. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (176 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (88 kbps) respectivamente

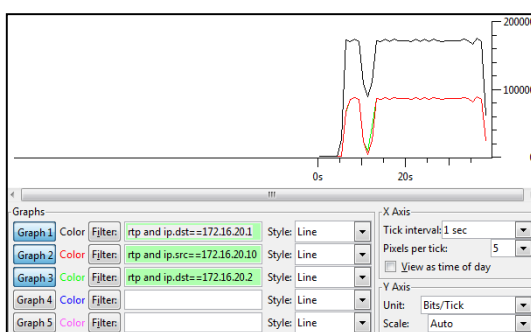


Figura 4.26c. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.26d. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene: la dirección IP origen y destino, el tipo de códec, latencia, jitter, pérdida de paquetes, indicados en las figuras 4.26e y 4.26f.

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pkts
172.16.20.2	5008	172.16.20.1	10402	0x68C9B281	ITU-T G.711 PCML	1629	0 (0.0%)	21,22	0,23	0,06	X
172.16.20.1	13596	186.5.81.178	4002	0x28FFD509	ITU-T G.711 PCML	17	0 (0.0%)	20,39	0,10	0,12	X
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	13596	0x50E288F	ITU-T G.711 PCML	1507	1 (0.1%)	90,22	158,43	11,33	X
172.16.20.1	13596	172.16.20.10	4002	0x28FFD509	ITU-T G.711 PCML	1602	0 (0.0%)	21,21	0,26	0,07	X
172.16.20.1	10402	172.16.20.2	5008	0x188B095	ITU-T G.711 PCML	1493	0 (0.0%)	19,82	15,64	11,14	X

Figura 4.26e. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4002 to 172.16.20.1 port 13596 SSRC = 0x50E288F							
Packet #	Sequence #	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
5973	16327	2,87	11,17	-15,52	80,00		[Ok]
5977	16328	27,48	10,94	-23,00	81,60		[Ok]
5982	16329	22,21	10,39	-25,21	80,00		[Ok]
5986	16330	19,00	9,80	-24,21	80,00		[Ok]
5988	16331	0,73	10,40	-4,94	81,60		[Ok]
5994	16332	27,00	10,18	-11,94	81,60		[Ok]

Max delta = 90,22 ms at packet no. 6672
 Max jitter = 158,43 ms. Mean jitter = 11,33 ms.
 Max skew = -86,14 ms.
 Total RTP packets = 1508 (expected 1508) Lost RTP packets = 1 (0.07%) Sequence errors = 1
 Duration 32,04 s (-1190 ms clock drift, corresponding to 7703 Hz (-3,72%))

Figura 4.26f. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

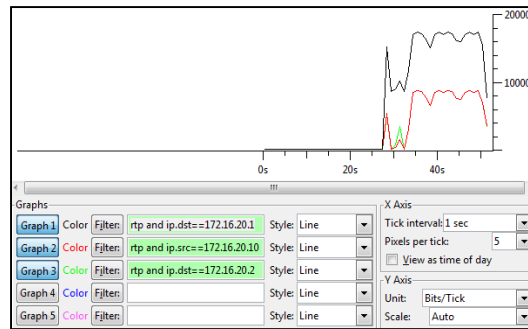


Figura 4.27b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

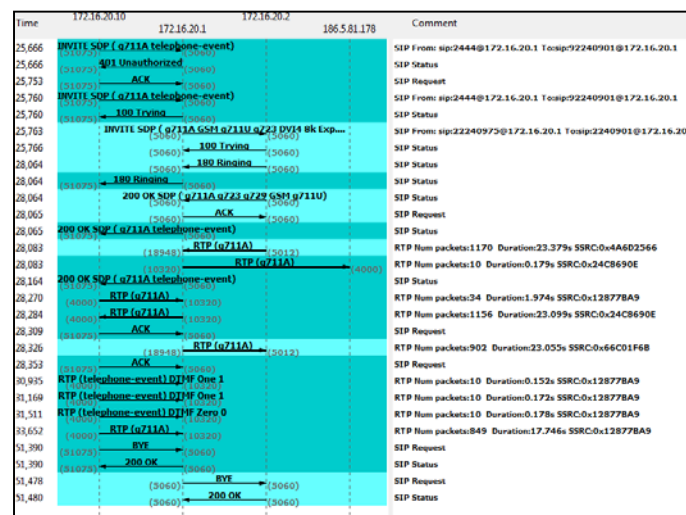


Figura 4.27c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb/s
172.16.20.2	5012	172.16.20.1	18948	0x4A802296	ITU-T G.711 PCMF	1170	0 (0.0%)	20.43	0.23	0.08	
172.16.20.1	10320	186.5.81.178	4000	0x24C8690E	ITU-T G.711 PCMF	10	0 (0.0%)	20.06	0.01	0.03	
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	10320	0x128778A9	ITU-T G.711 PCMF	919	0 (0.0%)	1341.50	98.30	11.45	
172.16.20.1	10320	172.16.20.10	4000	0x24C8690E	ITU-T G.711 PCMF	1156	0 (0.0%)	22.77	0.39	0.09	
172.16.20.1	18948	172.16.20.2	5012	0x66C01F68	ITU-T G.711 PCMF	902	0 (0.0%)	1982.34	161.04	13.46	

Figura 4.27d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
834	9616	19,98	0,04	0,34	81,60		[Ok]
836	9617	19,94	0,05	0,40	81,60		[Ok]
838	9618	20,05	0,05	0,35	81,60		[Ok]
840	9619	19,99	0,04	0,37	81,60		[Ok]
843	9620	19,94	0,05	0,42	81,60		[Ok]
845	9621	20,07	0,05	0,35	80,00		[Ok]
847	9622	20,00	0,04	0,35	80,00		[Ok]

Max delta = 22,77 ms at packet no. 3533
 Max jitter = 0,39 ms, Mean jitter = 0,09 ms.
 Max skew = -2,32 ms.
 Total RTP packets = 1156 (expected 1156) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 23,10 s (-491 ms clock drift, corresponding to 7830 Hz (-2,13%))

Figura 4.27e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-
Fuente el autor

c) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6431	37.529251000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43920, Time=3745990929
6432	37.529395000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57394, Time=3745990928
6434	37.548791000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43921, Time=3745991089
6435	37.548903000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57395, Time=3745991088
6438	37.570020000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43922, Time=3745991249
6439	37.570152000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57396, Time=3745991248
6440	37.588406000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43923, Time=3745991409
6441	37.588541000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57397, Time=3745991408
6442	37.608746000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43924, Time=3745991569
6443	37.608860000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57398, Time=3745991568
6449	37.638534000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43925, Time=3745991729
6450	37.638661000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57399, Time=3745991728
6451	37.638817000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43926, Time=3745991889
6452	37.638912000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57400, Time=3745991888
6453	37.678958000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43927, Time=3745992049
6454	37.679013000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43928, Time=3745992209
6455	37.679081000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57401, Time=3745992208
6456	37.679129000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57402, Time=3745992208
6457	37.708266000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43929, Time=3745992369
6458	37.708397000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x7720591D, Seq=57403, Time=3745992368
6460	37.728838000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x40279FAC, Seq=43930, Time=3745992529

Frame 6422: 87 bytes on wire (696 bits), 87 bytes captured (696 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett_a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Grandstr_29:70:67 (00:0b:82:29:70:67)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.2 (172.16.20.2)
 User Datagram Protocol, Src Port: 19478 (19478), Dst Port: 5032 (5032)
 Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0b e2 29 70 67 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ...}pg...8v..E.
0010 00 49 00 00 40 00 40 11 b9 c8 ac 10 14 01 ac 10  .I..@.@.....
0020 14 02 4c 16 13 a8 00 35 85 59 80 03 e0 30 df 47  .L...5.Y..0.G
0030 22 46 22 20 f0 14 26 23 81 2f 46 88 40 27 32 01  C...@...@...
  
```

Figura 4.28a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-
Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (68 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (34 kbps) respectivamente

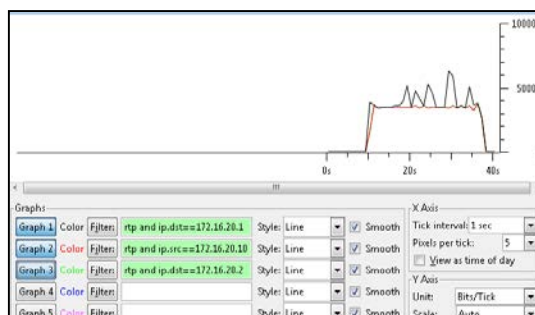


Figura 4.28b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

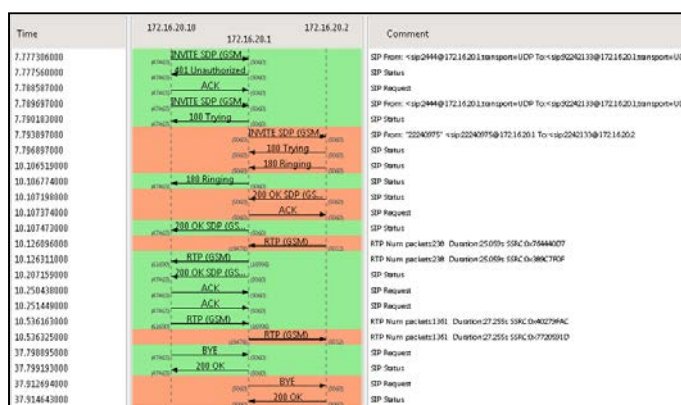


Figura 4.28c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	16996	172.16.20.10	61690	0x389C7F0F	GSM	238	0 (0,0%)
172.16.20.1	19478	172.16.20.2	5032	0x7720591D	GSM	1361	0 (0,0%)
172.16.20.10	61690	172.16.20.1	16996	0x40279FAC	GSM	1361	0 (0,0%)
172.16.20.2	5032	172.16.20.1	19478	0x764440D7	GSM	238	0 (0,0%)

Figura 4.28d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet No.	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	Jitter	IP BW(kbps)	Marker	Status
1837	42812	0,22	10,63	-4,04	29,78		[OK]	
1839	42813	20,15	9,97	-8,19	29,78		[OK]	
1841	42814	20,60	9,39	-8,07	29,70		[OK]	
1843	42815	19,31	8,05	-8,10	30,37		[OK]	
1847	42816	19,46	8,33	-3,64	29,78		[OK]	
1850	42817	20,93	7,87	-4,57	29,78		[OK]	
1854	42818	41,70	8,73	-26,27	28,62		[OK]	

Max delta = 184,72 ms at packet no. 6136
 Max jitter = 20,91 ms, Mean jitter = 10,08 ms.
 Max skew = -87,45 ms.
 Total RTP packets = 1361 (expected 1361) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 27,26 s (-84 ms clock drift, corresponding to 1975 Hz (-0,32%))

Figura 4.28e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1938	12.1080791000	172.16.20.1	186.3.81.178	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x33086781, Seq=21493, Time=1928465485
1943	12.108083000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21494, Time=1928465645
1944	12.108085000	172.16.20.1	186.3.81.178	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3928, Time=1928465480
1946	12.120582000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21494, Time=1928465645
1947	12.120773000	172.16.20.1	186.3.81.178	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3929, Time=1928465640
1948	12.140935000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21495, Time=1928465805
1949	12.140781000	172.16.20.1	186.3.81.178	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3930, Time=1928465800
1951	12.160589000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21496, Time=1928465965
1952	12.160775000	172.16.20.1	186.3.81.178	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3931, Time=1928465960
1954	12.163695000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1DE9C507, Seq=13718, Time=194873389
1957	12.180616000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21497, Time=1928466125
1958	12.180808000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3932, Time=1928466120
1960	12.189985000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1DE9C507, Seq=13717, Time=194873389
1962	12.19049000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1DE9C507, Seq=13718, Time=194873549, Mark
1963	12.190364000	172.16.20.1	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1DE9C507, Seq=13719, Time=194873709
1964	12.19052000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x609884F2, Seq=45524, Time=120, Mark
1966	12.200838000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21498, Time=1928466283
1967	12.200821000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3933, Time=1928466280
1973	12.220934000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21499, Time=1928466445
1976	12.221123000	172.16.20.1	186.3.81.178	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3934, Time=1928466440, Mark
1979	12.228186000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1DE9C507, Seq=13720, Time=194873869
1980	12.228302000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x609884F2, Seq=45525, Time=194873864, Mark
1982	12.23781000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1DE9C507, Seq=13721, Time=194874029
1983	12.13719000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x609884F2, Seq=45526, Time=194874024
1985	12.240682000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x33086781, Seq=21500, Time=1928466605
1986	12.240857000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x7B25C4AC, Seq=3935, Time=1928466600

Figura 4.29a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.722 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.722 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (174 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (87 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (87 kbps)

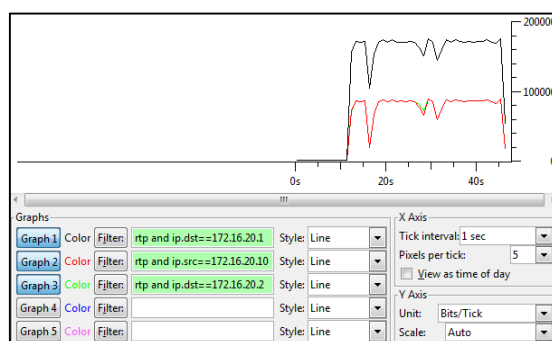


Figura 4.29b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

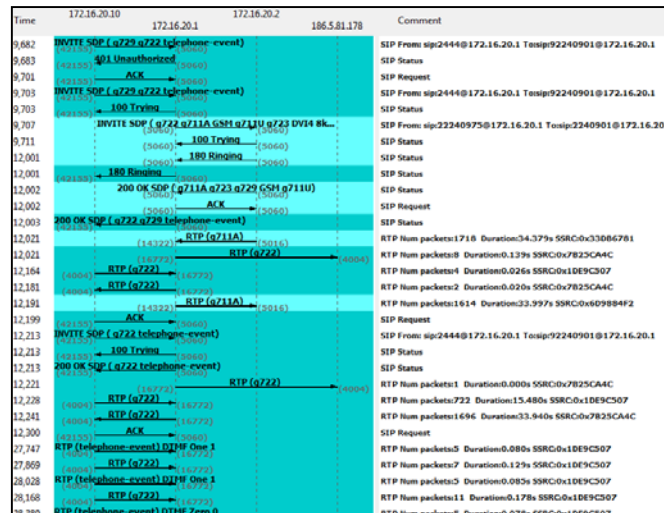


Figura 4.29c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.722 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src IP addr.	Src port	Dest IP addr.	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb?
172.16.20.2	5016	172.16.20.1	14322	0x93086781	ITU-T G.711 PCMU	1718	2 (0,1%)	42,42	1,50	0,11	X
172.16.20.1	16772	186.5.81.178	4004	0x7825CA4C	ITU-T G.722	9	2 (22,2%)	20,05	0,01	0,02	X
172.16.20.10	4004	172.16.20.1	16772	0x1D89C507	ITU-T G.722	1626	3 (0,2%)	79,76	42,57	11,76	X
172.16.20.1	16772	172.16.20.10	4004	0x7825CA4C	ITU-T G.722	1698	1 (0,1%)	42,45	1,65	0,12	X
172.16.20.1	14322	172.16.20.2	5016	0x609884F2	ITU-T G.711 PCMU	1614	0 (0,0%)	1052,13	11681,202,63	11,48	X

Figura 4.29d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.722 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet #	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
3994	4229	19,59	0,14	0,03	80,00		[Ok]
3996	4230	19,96	0,13	0,07	81,60		[Ok]
4002	4231	20,02	0,12	0,04	80,00		[Ok]
4012	4232	20,01	0,12	0,03	81,60		[Ok]
4029	4233	20,10	0,12	-0,07	80,00		[Ok]
4031	4234	20,00	0,11	-0,07	80,00		[Ok]
4037	4235	19,91	0,11	0,02	80,00		[Ok]

Max delta = 42,45 ms at packet no. 11201
 Max jitter = 1,65 ms. Mean jitter = 0,12 ms.
 Max skew = -5,71 ms.
 Total RTP packets = 1699 (expected 1699). Lost RTP packets = 1 (0,06%) Sequence errors = 1
 Duration 34,00 s (-75 ms clock drift, corresponding to 7963 Hz (-0,22%))

Figura 4.29e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.722 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

e) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1032	67.400942000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x715CF208, Seq=14884, Time=863653075
1033	67.401114000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7A84FC90, Seq=14767, Time=840
1034	67.401217000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7A84FC90, Seq=14767, Time=840
1035	67.411305000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x68754FFD, Seq=22254, Time=661880608
1036	67.411381000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x318E0046, Seq=46867, Time=661880808
1037	67.431415000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x715CF280, Seq=14885, Time=863653235
1038	67.431509000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7A84FC90, Seq=14788, Time=850
1039	67.434724000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x68754FFD, Seq=22255, Time=661880768
1040	67.434865000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x318E0046, Seq=46868, Time=661880768
1041	67.454275000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x68754FFD, Seq=22256, Time=661880928
1042	67.454378000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x318E0046, Seq=46869, Time=661880928
1043	67.460646000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x715CF280, Seq=14886, Time=863653395
1044	67.460749000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7A84FC90, Seq=14789, Time=850
1045	67.461344000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x715CF280, Seq=14887, Time=863653555
1046	67.461429000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7A84FC90, Seq=14790, Time=8120
1047	67.471437000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x68754FFD, Seq=22257, Time=661881088
1048	67.471446000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x318E0046, Seq=46870, Time=661881088
1049	67.484081000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x715CF280, Seq=14888, Time=863653715
1050	67.484191000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7A84FC90, Seq=14791, Time=1280
1051	67.4941762000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x68754FFD, Seq=22258, Time=661881248
1052	67.494870000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x318E0046, Seq=46871, Time=661881248
1053	67.514330000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x68754FFD, Seq=22259, Time=661881408
1054	67.514426000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x318E0046, Seq=46872, Time=661881408
1055	67.521460000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x715CF280, Seq=14889, Time=863653875
1056	67.521571000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7A84FC90, Seq=14792, Time=1440
1057	67.521841000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x715CF280, Seq=14890, Time=863654035

Frame 1045 (74 bytes on wire (74 bytes captured))
 # Ethernet II, Src: 00:9c:02:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Grandstr_29:70:67 (00:08:82:29:70:67)
 # Internet Protocol, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.2 (172.16.20.2)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 19132 (19132), Dst Port: scp1-telnet (5024)
 # Real-time Transport Protocol

```

0000 00 00 82 29 70 67 00 8c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ...jg... ..8v..E.
0010 00 3c 00 00 40 80 40 11 b9 d5 ac 10 14 01 ac 10 ...L..8.B.....
0020 1a 07 4a bc 13 a0 00 28 50 7f 80 17 39 c1 00 00 ...}...f...9...
  
```

Figura 4.30a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (60 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (30 kbps) respectivamente

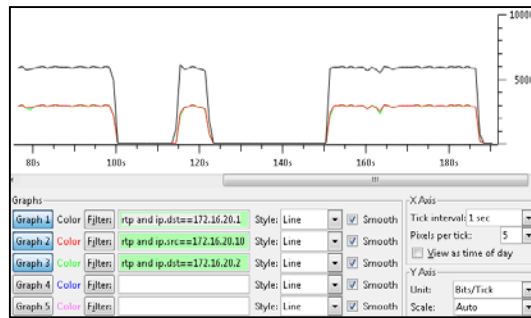


Figura 4.30b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

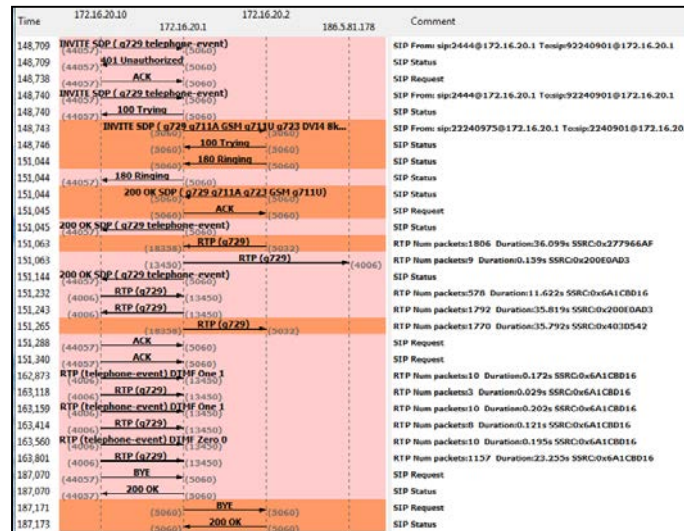


Figura 4.30c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 15 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
s IP addr	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max jitter (ms)	Mean jitter (ms)	Pb/s
172.16.20.2	5024	172.16.20.1	19132	0x68734FF0	ITU-T G.729	1643	0 (0.0%)	20,54	0,25	0,08	
172.16.20.1	18126	186.5.81.178	4002	0x32600046	ITU-T G.729	12	0 (0.0%)	20,45	0,11	0,17	
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	18126	0x715CF28D	ITU-T G.729	1624	0 (0.0%)	92,29	45,44	11,45	
172.16.20.1	18126	172.16.20.10	4002	0x32600046	ITU-T G.729	1622	0 (0.0%)	20,57	0,26	0,08	
172.16.20.1	19132	172.16.20.2	5024	0x7A84FC9D	ITU-T G.729	1610	0 (0.0%)	92,29	16,98	10,91	
172.16.20.2	5028	172.16.20.1	11718	0x4D226C56	ITU-T G.729	376	0 (0.0%)	20,55	0,28	0,21	
172.16.20.1	15598	186.5.81.178	4004	0x339CE1F7	ITU-T G.729	18	0 (0.0%)	20,28	0,05	0,06	
172.16.20.10	4004	172.16.20.1	15598	0x3D3342C4	ITU-T G.729	340	12 (3.5%)	96,37	94,03	11,29	X
172.16.20.1	15568	172.16.20.10	4004	0x339CE1F7	ITU-T G.729	351	0 (0.0%)	20,57	0,28	0,22	
172.16.20.1	11718	172.16.20.2	5028	0x273764B4	ITU-T G.729	337	0 (0.0%)	86,57	14,70	11,77	
172.16.20.2	5032	172.16.20.1	18758	0x273764B4	ITU-T G.729	1806	0 (0.0%)	20,58	0,23	0,07	
172.16.20.1	13450	186.5.81.178	4006	0x2000A0D3	ITU-T G.729	9	0 (0.0%)	20,41	0,06	0,12	
172.16.20.10	4006	172.16.20.1	13450	0x6A1C8D16	ITU-T G.729	1782	11 (0.6%)	110,15	41,03	11,54	X
172.16.20.1	13450	172.16.20.10	4006	0x2000A0D3	ITU-T G.729	1792	0 (0.0%)	21,28	0,23	0,07	
172.16.20.1	18938	172.16.20.2	5032	0x40305942	ITU-T G.729	1770	0 (0.0%)	110,16	8294,96	79025,10	

Figura 4.30d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1546	15091	1,57	10,85	-5,21	24,48		[Ok]
1550	15092	19,26	10,22	-4,47	24,96		[Ok]
1554	15093	27,02	10,02	-11,49	24,48		[Ok]
1560	15094	32,84	10,19	-24,33	24,00		[Ok]
1563	15095	2,88	10,62	-7,22	24,00		[Ok]
1569	15096	34,96	10,90	-22,18	24,48		[Ok]
1573	15097	18,66	10,30	-20,84	24,00		[Ok]

Max delta = 92,29 ms at packet no. 3029
 Max jitter = 45,44 ms. Mean jitter = 11,45 ms.
 Max skew = -30,44 ms.
 Total RTP packets = 1634 (expected 1624) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 32,46 s (-16736 ms clock drift corresponding to 3875 Hz (-51.57%))

Figura 4.30e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

f) Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
2490	11.398120000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x17896491, Seq=12465, Time=600644965
2491	11.398459000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x1E84E338, Seq=39463, Time=600644960
2500	11.417193000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x8727E1EA, Seq=10516, Time=6100, Mark
2501	11.417280000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x8727E1EA, Seq=10517, Time=320
2502	11.417419000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A1AF641, Seq=32701, Time=0, Mark
2503	11.418499000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x17896491, Seq=12466, Time=600645125
2504	11.418659000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x1E84E338, Seq=39464, Time=600645120
2509	11.438632000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x17896491, Seq=12467, Time=600645285
2510	11.438819000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x1E84E338, Seq=39465, Time=600645280
2518	11.457786000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x8727E1EA, Seq=10518, Time=480
2519	11.457943000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A1AF641, Seq=32702, Time=480
2520	11.458293000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x17896491, Seq=12468, Time=600645443
2521	11.458453000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x1E84E338, Seq=39466, Time=600645440
2524	11.460488000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x8727E1EA, Seq=10519, Time=640
2525	11.460588000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A1AF641, Seq=32703, Time=640
2528	11.47428000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x17896491, Seq=12469, Time=600645605
2529	11.474463000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x1E84E338, Seq=39467, Time=600645600
2534	11.488710000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x17896491, Seq=12470, Time=600645765
2535	11.488734000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x8727E1EA, Seq=10520, Time=800
2536	11.488751000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x8727E1EA, Seq=10521, Time=960
2537	11.488774000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x1E84E338, Seq=39468, Time=600645760
2538	11.488926000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A1AF641, Seq=32704, Time=800
2539	11.488939000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A1AF641, Seq=32705, Time=960
2542	11.506274000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=GT26-32, SSRC=0x8727E1EA, Seq=10522, Time=1120
2543	11.506411000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A1AF641, Seq=32706, Time=1120
2546	11.518100000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x17896491, Seq=12471, Time=600645923

Figura 4.31a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.726-32 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.726-32 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (143 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (54 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (89 kbps)

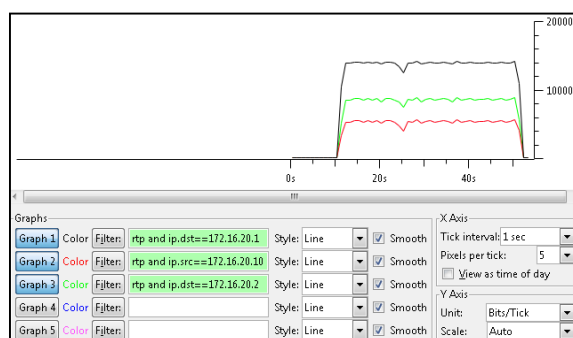


Figura 4.31b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.31c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src IP addr.	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max jitter (ms)	Mean jitter (ms)	Pb ²
172.16.20.2	5008	172.16.20.1	14306	0d17896491	ITU-T G.711 PCM	2032	0 (0,0%)	21,72	0,25	0,08	
172.16.20.1	19942	172.16.20.10	4000	0d1E84E538	G.726-32	2027	0 (0,0%)	21,73	0,25	0,08	
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	19942	0d6727E1EA	G.726-32	2020	0 (0,0%)	88,20	43,17	11,45	
172.16.20.1	14306	172.16.20.2	5008	0d1A1AF641	ITU-T G.711 PCM	2004	0 (0,0%)	88,22	18,27	11,01	

Figura 4.31d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4000 to 172.16.20.1 port 19942 SSRC = 0d6727E1EA							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
7947	11170	37,03	11,48	19,68	48,00		[Ok]
7964	11171	38,92	11,94	0,77	48,00		[Ok]
7965	11172	0,02	12,44	20,75	48,96		[Ok]
7977	11173	24,03	11,92	16,72	48,96		[Ok]
7986	11174	18,85	11,25	17,87	48,96		[Ok]
7988	11175	3,15	11,60	34,71	49,92		[Ok]
7990	11176	29,25	11,45	25,46	48,96		[Ok]

Max delta = 88,20 ms at packet no. 8561
 Max jitter = 43,17 ms. Mean jitter = 11,45 ms.
 Max skew = -50,73 ms.
 Total RTP packets = 2020 (expected 2020) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 40,36 s (-1716 ms clock drift, corresponding to 7660 Hz (-4,25%))

Figura 4.31e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con código G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

g) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
898	8.488315000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x2826003C, Seq=63418, Time=211773808
899	8.512305000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x428C4892, Seq=23816, Time=381287727, Mark
900	8.512496000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xA381080, Seq=38474, Time=381287720, Mark
901	8.518180000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xAB6182, Seq=32747, Time=211773973
902	8.518347000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x2826003C, Seq=62419, Time=211773968
903	8.538380000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xAB6182, Seq=32748, Time=211774133
904	8.538648000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x2826003C, Seq=62440, Time=211774128
905	8.558155000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xAB6182, Seq=32749, Time=211774293
906	8.558483000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x2826003C, Seq=62441, Time=211774288
907	8.560562000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x428C4892, Seq=23817, Time=381287887
908	8.560770000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xA381080, Seq=38475, Time=381287880
909	8.578120000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xAB6182, Seq=32750, Time=211774453
910	8.578411000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x2826003C, Seq=62442, Time=211774448
911	8.579775000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x428C4892, Seq=23818, Time=381288047
912	8.579948000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xA381080, Seq=38476, Time=381288040
913	8.598466000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xAB6182, Seq=32751, Time=211774613
914	8.598786000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x2826003C, Seq=62443, Time=211774608
926	8.602520000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x428C4892, Seq=23819, Time=381288207
927	8.602690000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xA381080, Seq=38477, Time=381288200
944	8.618061000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xAB6182, Seq=32752, Time=211774773
945	8.618180000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	83	PT=Speex, SSRC=0x2826003C, Seq=62444, Time=211774768
950	8.620176000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x428C4892, Seq=23820, Time=381288367

Figura 4.32a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec Speex-16 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec Speex-16 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (118 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (33 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (85 kbps)

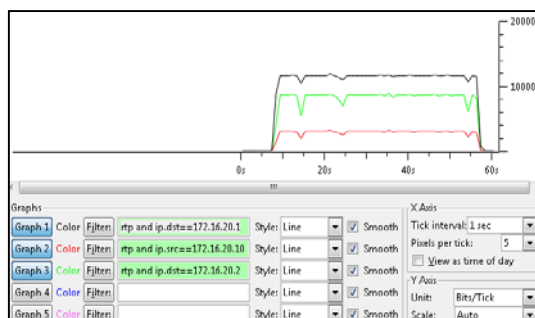


Figura 4.32b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

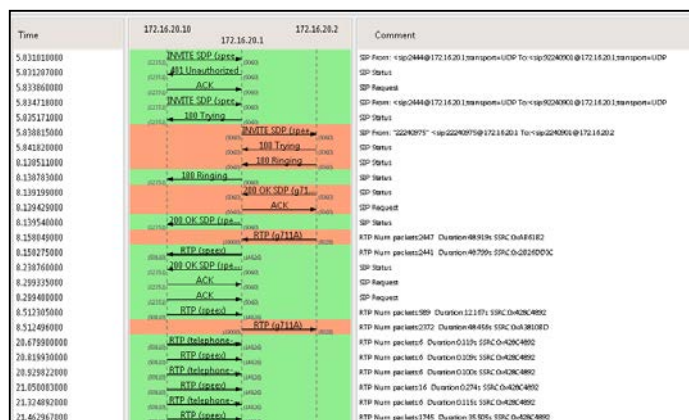


Figura 4.32c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	14826	172.16.20.10	50810	0x2B26DD3C	speex	2441	0 (0,0%)
172.16.20.1	19000	172.16.20.2	5028	0xA3810BD	g711A	2372	0 (0,0%)
172.16.20.10	50810	172.16.20.1	14826	0x428C4892	speex	2380	0 (0,0%)
172.16.20.2	5028	172.16.20.1	19000	0xAB61B2	g711A	2447	0 (0,0%)

Figura 4.32d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
12770	25770	2,15	11,00	-643,60	24,89		[Ok]
12786	25779	27,05	11,50	-650,73	24,89		[Ok]
12791	25780	19,40	10,88	-650,22	24,40		[Ok]
12795	25781	18,95	10,27	-648,16	24,89		[Ok]
12824	25782	25,84	9,99	-655,00	24,40		[Ok]
12843	25783	15,56	9,65	-650,57	24,89		[Ok]
12851	25784	30,80	9,72	-661,37	24,40		[Ok]
12853	25785	3,41	10,15	-644,78	24,89		[Ok]

Max delta = 210,50 ms at packet no. 2600
 Max jitter = 20,34 ms. Mean jitter = 9,80 ms.
 Max skew = -996,19 ms.
 Total RTP packets = 2380 (expected 2380) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 40,46 s (-1354 ms clock drift corresponding to 7716 Hz (-2,80%))

Figura 4.32e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-
 Fuente el autor

h) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
41239	117.021031	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49600508, Seq=33614, Time=1320186650
41242	117.021530	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x3388802F, Seq=11997, Time=359065753
41243	117.021733	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C029626, Seq=23169, Time=3422688
41244	117.021767	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C029626, Seq=23170, Time=3422848
41247	117.031116	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49600508, Seq=33615, Time=1320186810
41248	117.031442	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x18867825, Seq=25197, Time=1320186808
41253	117.051036	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49600508, Seq=33616, Time=1320186970
41254	117.051344	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x18867825, Seq=25198, Time=1320186969
41258	117.057537	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x3388802F, Seq=11998, Time=359065993
41259	117.057965	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C029626, Seq=23171, Time=3433008
41262	117.072081	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49600508, Seq=33617, Time=1320187130
41265	117.075942	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x3388802F, Seq=11999, Time=359066233
41266	117.076117	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C029626, Seq=23172, Time=3433168
41267	117.076441	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C029626, Seq=23173, Time=3433328
41273	117.092115	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49600508, Seq=33618, Time=1320187200
41274	117.092432	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x18867825, Seq=25199, Time=1320187288
41277	117.103150	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x3388802F, Seq=12000, Time=359066473
41278	117.103459	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C029626, Seq=23174, Time=3434888
41281	117.111999	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49600508, Seq=33619, Time=1320187450
41282	117.112400	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x18867825, Seq=25200, Time=1320187448
41295	117.127229	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x3388802F, Seq=12001, Time=359066713

Frame 41232: 104 bytes on wire (832 bits), 104 bytes captured (832 bits) on Interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-Packard [00:0c:29:14:c1:99], Dst: Samsung [08:00:27:00:00:00] (f4:09:08:6a:c1:99)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.10 (172.16.20.10)
 User Datagram Protocol, Src Port: 18630 (18630), Dst Port: 4004 (4004)
 Real-Time Transport Protocol

Figura 4.33a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-
 Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec iLBC-13.33 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec iLBC-13.33 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

Detected 10 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	11402	186.5.81.178	4002	0x1FCBC417	iLBC	5	0 (0,0%)
172.16.20.1	18466	172.16.20.2	5028	0x3084221B	g711A	81	0 (0,0%)
172.16.20.1	11402	172.16.20.10	4002	0x1FCBC417	RTPTYPE-102	136	0 (0,0%)
172.16.20.1	18630	186.5.81.178	4004	0x18867B25	iLBC	7	0 (0,0%)
172.16.20.1	18716	172.16.20.2	5032	0x1CD29626	g711A	1828	0 (0,0%)
172.16.20.1	18630	172.16.20.10	4004	0x18867B25	iLBC	1433	0 (0,0%)
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	11402	0x6910F054	RTPTYPE-102	52	0 (0,0%)
172.16.20.10	4004	172.16.20.1	18630	0x33B88B2F	iLBC	1227	3 (0,2%)
172.16.20.2	5028	172.16.20.1	18466	0x18236116	g711A	216	0 (0,0%)
172.16.20.2	5032	172.16.20.1	18716	0x4960050B	g711A	2165	0 (0,0%)

Figura 4.33d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing rstream from 172.16.20.10 port 4004 to 172.16.20.1 port 18630 SSRC = 0x33B88B2F						
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Status
24070	10915	55,56	12,32	-48,03	23,76	[Ok]
24074	10916	4,66	13,13	-22,69	24,48	[Ok]
24102	10917	48,01	13,44	-48,70	23,76	[Ok]
24125	10918	27,91	12,73	-38,61	24,48	[Ok]
24152	10919	28,94	12,00	-37,55	24,48	[Ok]
24163	10920	32,87	12,32	-28,42	24,48	[Ok]
24187	10921	29,00	11,61	-18,42	24,48	[Ok]
24203	10922	27,61	11,03	-17,03	24,48	[Ok]

Max delta = 113,86 ms at packet no. 35524
 Max jitter = 62,82 ms. Mean jitter = 12,36 ms.
 Max skew = -132,03 ms.
 Total RTP packets = 1220 (expected 1230). Lost RTP packets = 3 (0,24%) Sequence errors = 2
 Duration 42,98 s (-19780 ms clock drift, corresponding to 4318 Hz (-46,07%)

Figura 4.33e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.5.6. Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN

Una vez obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.6.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP.

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio									
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	88	88	176	90,22	158,43	0,07	1508	4	Comunicación estable
G.711a	214	87	87	174	22,77	0,39	0	1156	4	Comunicación estable
GSM	87	34	34	68	104,72	20,91	0	1361	4	Se corta la comunicación
G.722	214	87	87	174	42,45	1,65	0,06	1699	4	Comunicación estable
G.729	74	30	30	60	92,29	45,44	0	1624	4	Comunicación estable un poco atenuada
G.726-32	134	54	89	143	88,2	43,17	0	2020	3	Bastante atenuada la voz
Speex-16	75	33	85	118	210,58	28,34	0	2380	3	Bastante atenuada la voz
iLBC-13.33	104	29	88	117	113,86	62,02	0,24	1230	4	Se degrada un poco la voz (robotiza)

Tabla 4.6. Resultados de las capturas de tramas RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada de VoIP en éste caso con el protocolo SIP es cercano a la suma de los valores teóricos (véase capítulo 3) de los anchos de banda que manejan los códecs en cada canal, considerando que se necesitan dos canales para establecer la comunicación. Por lo tanto se establece éste subescenario también como muy próximo a un escenario ideal. De ésta manera se tiene el tamaño real de los códecs de voz, su ancho de banda, PPS y MOS, como se indica en la tabla 4.7a, la cual es similar a las tablas 4.3a y 4.5a anteriormente indicadas. Se realiza una comparación de los valores prácticos y teóricos de los códecs de voz. Para cada trama RTP que incluye al códec respectivo se resta el tamaño de su cabecera (12 bytes \cong 5 kbps).

código	Valores teóricos de los códecs de voz				Valores prácticos reales de los códecs de voz - prueba de laboratorio				
	Tamaño de una trama RTP calculado o tamaño del código cabecera (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP (kbps)	PPS basado en el Frame Size	MOS 1 a 5	Tamaño de una trama RTP sin cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP, canal origen de la llamada de VoIP (kbps)	PPS calculado basado en el Frame Size (véase capítulo 3)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	160	64	50	4.3	202	83	51,36	4	Comunicación estable
G.711a	160	64	50	4.3	202	82	50,74	4	Comunicación estable
GSM	33	13	50	3.5	75	29	48.33	4	Se corta la comunicación
G.722	160	64	50	4.1 a 4.5	202	82	50,74	4	Comunicación estable
G.729	20	8	50	4	62	25	50,4	4	Comunicación estable un poco atenuada
G.726-32	80	32	50	4	122	49	50,20	3	Bastante atenuada la voz
Speex-16	40	16	50	3.78	63	28	55,56	3	Bastante atenuada la voz
iLBC-13.33	50	13,33	33,33	3.74 a 4.14	92	24	32,61	4	Se degrada un poco la voz (robotiza)

Tabla 4.7a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

Se puede apreciar que con los códecs: G.711u, G.711a y G.722 se tiene un mayor ancho de banda (en un canal de la llamada de VoIP con protocolo SIP) y un menor ancho de banda con los códecs: GSM, Speex-16, G.729 e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio, similar a la tabla 4.3b y 4.5b. Esto se observa en la tabla 4.7b.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.711u	88	Mayor
G.711a	87	Mayor
G.722	87	Mayor
G.726-32	54	Intermedio
GSM	34	Menor
Speex-16	33	Menor
G.729	30	Menor
iLBC-13.33	29	Menor

Tabla 4.7b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.

Fuente el autor

En la tabla 4.7c, se ordena según la latencia de las tramas RTP, obteniendo con el códec G.711a el menor valor seguido del G.722 en cambio con el códec Speex-16 se presenta una alta latencia, si se compara con el valor teórico.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
G.711a	22,77	SI
G.722	42,45	SI
G.726-32	88,2	SI
G.711u	90,22	SI
G.729	92,29	SI
GSM	104,72	SI
iLBC-13.33	113,86	SI
Speex-16	210,58	NO

Tabla 4.7c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con el códec G.711a seguido del G.722 se obtienen valores bajos y con el G.711u se tiene un valor que esta fuera del parámetro establecido que es menor a 100 ms, indicado en la tabla 4.7d.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
G.711a	0,39	SI
G.722	1,65	SI
GSM	20,91	SI
Speex-16	28,34	SI
G.726-32	43,17	SI
G.729	45,44	SI
iLBC-13.33	62,02	SI
G.711u	158,43	NO

Tabla 4.7d. Jitter en una trama RTP con los códec de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

La pérdida de paquetes en las tramas RTP es muy pequeña y con todos los códec se está dentro de lo establecido, como se observa en la tabla 4.7e.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
iLBC-13.33	0,24	SI
G.711u	0,07	SI
G.722	0,06	SI
G.711a	0	SI
GSM	0	SI
G.729	0	SI
G.726-32	0	SI
Speex-16	0	SI

Tabla 4.7e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códec de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. En este caso se

identifica que los mejores resultados son con los códecs: G.711u, G.711a, G.722, G.729, GSM e iLBC-13.33, teniendo el más bajo rendimiento con los códecs: G.726-32 y Speex-16, como se indica en la tabla 4.7f.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
G.711u	4	Comunicación estable
G.711a	4	Comunicación estable
G.722	4	Comunicación estable
G.729	4	Comunicación estable un poco atenuada
GSM	4	Se corta la comunicación
iLBC-13.33	4	Se degrada un poco la voz (robotiza)
G.726-32	3	Bastante atenuada la voz
Speex-16	3	Bastante atenuada la voz

Tabla 4.7f. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.7c, 4.7d, 4.7e y 4.7f se tiene un mejor rendimiento con el grupo de códecs: G.711a y G.722 (banda ancha). De igual manera con los códecs: GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) que también cumplen con los valores deseados. Para con los códecs: G726-32, G.711u y Speex-16 no se cumplen en su totalidad los parámetros necesarios.

4.5.7. Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular

Se realizan llamadas reales de prueba como se observa en la figura 4.34a, con los 8 códecs nuevamente, habilitando cada uno de ellos en el softphone. Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con IP: 172.16.20.10 de extensión 2444, a un teléfono móvil celular al número 099XXXXXX, teniendo en

cuenta que la llamada sale a través del Gateway PSTN GrandStream GXW4104 de IP: 172.16.20.2 que se conecta a la PSTN y luego redirigida a la red de telefonía móvil celular (refiérase a la figura 4.9)

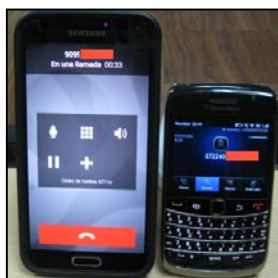


Figura 4.34a Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fotografía-Fuente el autor

Se habilita en el softphone el códec determinado, pero teniendo en cuenta que el códec que utilice el Gateway PSTN es de acuerdo a la configuración indicada en figura 4.3c. Además dependerá si el códec es soportado por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). El códec del softphone puede ser heredado por el Gateway PSTN siempre que éste esté también disponible en el mismo, caso contrario será recodificado por el servidor de VoIP.

a) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
381	40.183031000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15196, Time=83149420
382	40.183993000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x7624a275, Seq=19255, Time=831494083
383	40.186037000	172.16.20.2	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15197, Time=831494080
384	40.200589000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x7624a275, Seq=19256, Time=831494245
385	40.200693000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15198, Time=831494240
386	40.201479000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15199, Time=831494230
387	40.201543000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4d7195a3, Seq=55066, Time=541546120
388	40.221338000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x16205860, Seq=14350, Time=541546200
389	40.221433000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4d7195a3, Seq=55067, Time=541546280
390	40.222882000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x7624a275, Seq=19257, Time=831494405
391	40.222784000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15199, Time=831494400
392	40.241389000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x16205860, Seq=14351, Time=541546440
393	40.241469000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4d7195a3, Seq=55068, Time=541546440
395	40.250540000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x7624a275, Seq=19258, Time=831494560
396	40.250639000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15200, Time=831494560
397	40.261404000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x16205860, Seq=14352, Time=541546600
398	40.261518000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4d7195a3, Seq=55069, Time=541546600
399	40.273946000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x7624a275, Seq=19259, Time=831494720
400	40.276041000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15201, Time=831494720
401	40.276440000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x7624a275, Seq=19260, Time=831494880
402	40.276503000	172.16.20.2	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15202, Time=831494880
403	40.281404000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x16205860, Seq=14353, Time=541546760
404	40.281512000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4d7195a3, Seq=55070, Time=541546760
403	40.287389000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x7624a275, Seq=19261, Time=831495040
406	40.286083000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x14106307, Seq=15203, Time=831495040
407	40.292424000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x16205860, Seq=14354, Time=541546920

```

Frame 371 (214 bytes on wire (171 bytes captured)
on interface 0: Ethernet II, Src: 00:9c:02:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: grandstr_29:70:67 (00:0b:82:29:70:67)
Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.2 (172.16.20.2)
User Datagram Protocol, Src Port: 17542 (17542), Dst Port: zenginkyo-1 (5020)
Real-time Transport Protocol
000 00 0b 82 29 70 67 00 0c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ...jpg...&v...&
010 00 c8 00 00 40 00 40 11 b9 49 ac 10 14 01 ac 10 ...0.0.0.1.....
020 14 02 44 86 13 9c 00 b4 2c 5e 60 00 3b 3a 31 8f ...0.0.0.1.....

```

Figura 4.34b. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (176 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (88 kbps) respectivamente

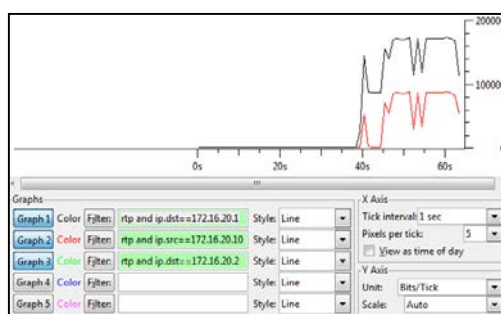


Figura 4.34c. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

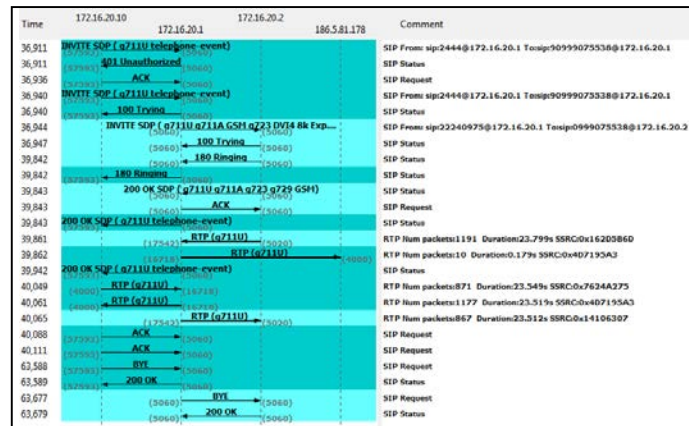


Figura 4.34d. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene: la dirección IP origen y destino, el tipo de códec, latencia, jitter, pérdida de paquetes. Indicados en las figuras 4.34e y 4.34f.

Src IP addr	Src port	Dest IP addr	Dest port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pl%
172.16.20.2	5020	172.16.20.1	17542	0x410598D	ITU-T G.711 PCML	1191	0 (0.0%)	20,56	0,24	0,06	X
172.16.20.1	16718	186.5.81.178	4000	0x4D7195A3	ITU-T G.711 PCML	10	0 (0.0%)	20,06	0,02	0,03	X
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	16718	0x7624A275	ITU-T G.711 PCML	871	0 (0.0%)	73,82	14,83	11,31	X
172.16.20.1	16718	172.16.20.10	4000	0x4D7195A3	ITU-T G.711 PCML	1177	0 (0.0%)	20,59	0,23	0,06	X
172.16.20.1	17542	172.16.20.2	5020	0x410598D	ITU-T G.711 PCML	867	0 (0.0%)	3501,25	6496039,04	119892,09	X

Figura 4.34e. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet #	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1314	19354	20,19	10,14	11,97	48,00		[Ok]
1320	19355	26,56	9,91	5,40	48,00		[Ok]
1322	19356	0,64	10,50	24,76	49,60		[Ok]
1326	19357	25,65	10,20	19,11	49,60		[Ok]
1330	19358	26,81	9,99	12,30	48,00		[Ok]
1334	19359	18,34	9,47	13,95	49,60		[Ok]
1338	19360	20,94	8,94	13,01	48,00		[Ok]

Max delta = 73,82 ms at packet no. 4401
 Max jitter = 14,83 ms. Mean jitter = 11,31 ms.
 Max skew = -52,68 ms.
 Total RTP packets = 871 (expected 871) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 23.55 s (-1494 ms clock drift, corresponding to 7492 Hz (-6.35%))

Figura 4.34f. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

b) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
136	7.013762000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x76811A34, Seq=7906, Time=1575957141
138	7.014137000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x76811A34, Seq=7907, Time=1575957201, Mark
139	7.014166000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x76811A34, Seq=7908, Time=1575957461
140	7.014255000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x93D951F, Seq=23317, Time=72, Mark
141	7.031496000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=2341, Time=1687620302
142	7.031616000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=58754, Time=1687620296
145	7.042259000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x76811A34, Seq=7909, Time=1575957621
146	7.042388000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x93D951F, Seq=23318, Time=1575957616
147	7.051549000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=2342, Time=1687620462
148	7.051643000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=58755, Time=1687620456
151	7.070997000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x76811A34, Seq=7910, Time=1575957781
152	7.071118000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x93D951F, Seq=23319, Time=1575957776
153	7.071472000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=2343, Time=1687620622
154	7.071578000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=58756, Time=1687620616
156	7.088992000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x76811A34, Seq=7911, Time=1575957941
157	7.087118000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x93D951F, Seq=23320, Time=1575957936
158	7.088961000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x76811A34, Seq=7912, Time=1575958101
159	7.089074000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x93D951F, Seq=23321, Time=1575958096
160	7.091549000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=2344, Time=1687620782
161	7.091666000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=58757, Time=1687620776
162	7.113484000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=2345, Time=1687620942
163	7.113580000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2FE6723E, Seq=58758, Time=1687620936

Figura 4.35a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (174 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (87 kbps) respectivamente



Figura 4.35b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

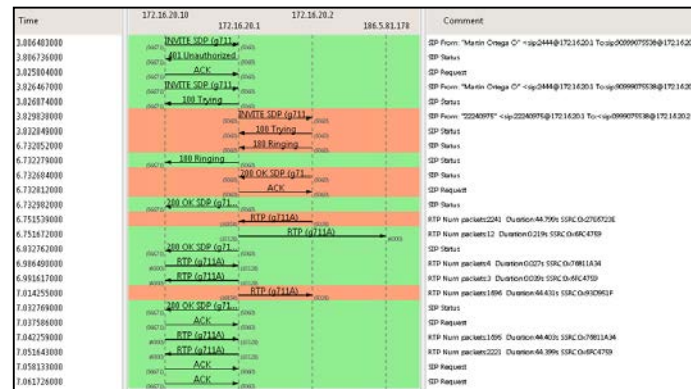


Figura 4.35c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene:

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	10328	186.5.81.178	4000	0x6FC4759	g711A	12	0 (0,0%)
172.16.20.1	10328	172.16.20.10	4000	0x6FC4759	g711A	2224	0 (0,0%)
172.16.20.1	16854	172.16.20.2	5028	0x93D951F	g711A	1696	0 (0,0%)
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	10328	0x76011A34	g711A	1699	0 (0,5%)
172.16.20.2	5028	172.16.20.1	16854	0x27E6723E	g711A	2241	0 (0,0%)

Figura 4.35d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
3252	8432	13,07	11,08	2,01	76,00		[OK]
3256	8433	25,25	10,72	-3,24	78,40		[OK]
3260	8434	3,66	11,07	13,10	80,00		[OK]
3264	8435	22,97	10,56	10,13	81,60		[OK]
3268	8436	34,03	10,78	-3,50	80,00		[OK]
3270	8437	0,73	11,31	15,38	81,60		[OK]
3274	8438	19,15	10,66	16,23	83,20		[OK]
3280	8439	39,53	11,21	-3,30	80,00		[OK]

Max delta = 121,63 ms at packet no. 3927
 Max jitter = 19,19 ms. Mean jitter = 11,43 ms.
 Max skew = -74,69 ms.
 Total RTP packets = 1703 (expected 1707) Lost RTP packets = 6 (0,47%) Sequence errors = 3
 Duration 44,46 s (-46 ms clock drift, corresponding to 7992 Hz (-0,10%))

Figura 4.35e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

c) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
684	61.556317000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28676, Time=579835675
685	61.556405000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64166, Time=579835512
686	61.556457000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64167, Time=579835672
687	61.580298000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28677, Time=579835835
688	61.580268000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64168, Time=579835832
689	61.611291000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28678, Time=579835995
690	61.611403000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64169, Time=579835992
691	61.639191000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28679, Time=579836155
692	61.639213000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28680, Time=579836315
693	61.639319000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64170, Time=579836152
694	61.639374000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64171, Time=579836312
695	61.675111000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28681, Time=579836475
696	61.675189000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64172, Time=579836472
697	61.677361000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28682, Time=579836635
698	61.677461000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64173, Time=579836632
699	61.711188000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28683, Time=579836795
700	61.711218000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64174, Time=579836792
701	61.715856000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28684, Time=579836955
702	61.715957000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64175, Time=579836952
703	61.753914000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28685, Time=579837115
704	61.754028000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64176, Time=579837112
705	61.765279000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	87	PT= GSM 06.10, SSRC=0x35F0B075, Seq=28686, Time=579837275
706	61.765350000	172.16.20.1	172.16.20.2	DTCP	87	DTCP= GSM 06.10, SSRC=0x1E434866, Seq=64177, Time=579837272

Frame 680: 87 bytes on wire (696 bits), 87 bytes captured (696 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Samsung_6a:c1:99 (F4:09:d8:6a:c1:99), Dst: Hewlett_88:38:76 (00:9c:02:a8:38:76)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.10 (172.16.20.10), Dst: 172.16.20.1 (172.16.20.1)
 User Datagram Protocol, Src Port: 4000 (4000), Dst Port: 14188 (14188)
 Real-Time Transport Protocol

```

0000  00 9c 02 a8 38 76 f4 09 d8 6a c1 99 08 00 45 b8  ....8v...j....E.
0010  00 49 00 00 40 00 40 11 b9 c0 ac 10 14 0a ac 10  .i..@.....
0020  14 01 0f ad 37 6c 00 35 98 95 80 03 70 02 2f 8f  ....71.5....p..
0030  95 d0 35 f0 d0 75 d3 a0 dc e2 1b 50 00 49 24 92  .5...u...P.I$.
0040  48 24 93 80 64 56 82 4e 43 64 20 4e 82 b4 62 65  14...F.E...T...
    
```

Figura 4.36a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (70 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (35 kbps) respectivamente

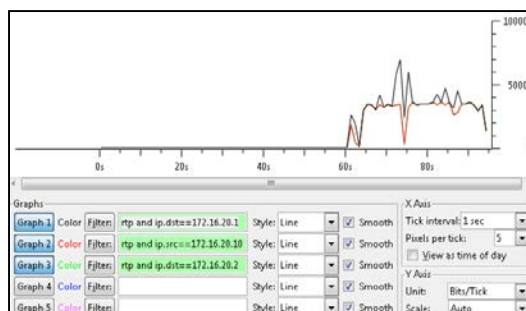


Figura 4.36b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.36c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene:

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	14188	186.5.81.178	4000	0x61077D52	GSM	5	0 (0,0%)
172.16.20.1	17992	172.16.20.2	5032	0x1E434866	GSM	1443	0 (0,0%)
172.16.20.1	14188	172.16.20.10	4000	0x61077D52	GSM	250	0 (0,0%)
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	14188	0x35F0B075	GSM	1446	0 (0,0%)
172.16.20.2	5032	172.16.20.1	17992	0x52EE777F	GSM	255	0 (0,0%)

Figura 4.36d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1625	29068	28,39	9,88	-7,58	28,62		[Ok]
1627	29069	0,38	9,74	12,02	29,20		[Ok]
1629	29070	28,78	9,88	3,24	29,78		[Ok]
1631	29071	25,59	9,42	-2,34	29,20		[Ok]
1633	29072	18,29	8,94	-0,63	29,20		[Ok]
1635	29073	0,40	9,61	18,97	29,78		[Ok]
1637	29074	27,20	9,46	11,77	29,20		[Ok]
1640	29076	30,30	0,46	5,48	30,30		[Ok]

Max delta = 54,65 ms at packet no. 1121
 Max jitter = 13,88 ms. Mean jitter = 11,31 ms.
 Max skew = 23,89 ms.
 Total RTP packets = 1446 (expected 1446). Lost RTP packets = 0 (0,00%). Sequence errors = 0
 Duration: 30,98 s (-1279 ms clock drift, corresponding to 7698 Hz (-1,88%))

Figura 4.36e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
615	48.226159000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x603DA290, Seq=11778, Time=1178293352
617	48.245953000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3455ACD, Seq=8023, Time=1178293515
618	48.246113000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x603DA290, Seq=11779, Time=1178293512
619	48.261342000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x591CCAF8, Seq=1902, Time=917065502
620	48.261495000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x789F48D, Seq=57423, Time=917065898
621	48.266027000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3455ACD, Seq=8024, Time=1178293675
622	48.266159000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x603DA290, Seq=11780, Time=1178293672
623	48.266282000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x591CCAF8, Seq=1903, Time=917066062
624	48.266416000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x789F48D, Seq=57424, Time=917066058
626	48.286015000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3455ACD, Seq=8025, Time=1178293835
627	48.286173000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x603DA290, Seq=11781, Time=1178293832
629	48.305468000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x591CCAF8, Seq=1904, Time=917066222
630	48.305612000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x789F48D, Seq=57425, Time=917066218
631	48.305938000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3455ACD, Seq=8026, Time=1178293995
632	48.306286000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x603DA290, Seq=11782, Time=1178293992
633	48.326033000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3455ACD, Seq=8027, Time=1178294155
634	48.326111000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x591CCAF8, Seq=1905, Time=917066382
635	48.326169000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x603DA290, Seq=11783, Time=1178294152
636	48.326212000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x789F48D, Seq=57426, Time=917066378
638	48.345965000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3455ACD, Seq=8028, Time=1178294315
639	48.346116000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x603DA290, Seq=11784, Time=1178294312
640	48.365976000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3455ACD, Seq=8029, Time=1178294475

Figura 4.37a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.722 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.722 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (170 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (85 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (85 kbps)

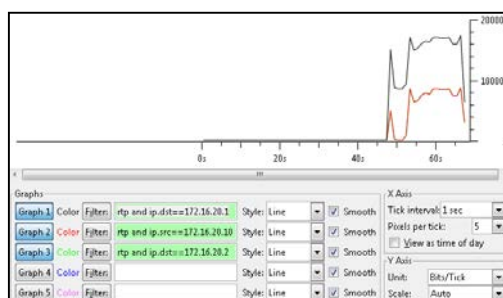


Figura 4.37b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

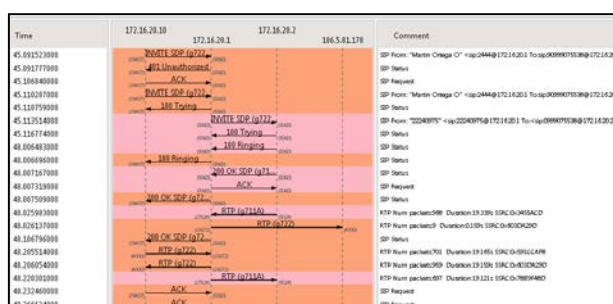


Figura 4.37c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene:

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	15672	186.5.81.178	4000	0x603DA29D	g722	9	0 (0,0%)
172.16.20.1	15672	172.16.20.10	4000	0x603DA29D	g722	959	0 (0,0%)
172.16.20.1	17024	172.16.20.2	5024	0x78B9F48D	g711A	697	0 (0,0%)
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	15672	0x591CCAF8	g722	701	43 (5,8%)
172.16.20.2	5024	172.16.20.1	17024	0x3455ACD	g711A	968	0 (0,0%)

Figura 4.37d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
3475	12543	20,00	0,04	0,08	80,00	[OK]	[OK]
3479	12544	20,00	0,04	0,08	81,60	[OK]	[OK]
3485	12545	20,00	0,04	0,08	81,60	[OK]	[OK]
3489	12546	20,00	0,03	0,08	81,60	[OK]	[OK]
3491	12547	19,96	0,03	0,12	81,60	[OK]	[OK]
3497	12548	20,04	0,03	0,08	81,60	[OK]	[OK]
3499	12549	20,00	0,03	0,08	81,60	[OK]	[OK]
3506	12550	20,00	0,03	0,08	81,60	[OK]	[OK]

Max delta = 20,50 ms at packet no. 3570
 Max jitter = 0,25 ms. Mean jitter = 0,07 ms.
 Max skew = -0,55 ms.
 Total RTP packets = 959 (expected 959) Lost packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 19,16 s (-1633 ms clock drift, corresponding to 7318 Hz (- 8,53%))

Figura 4.37e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

e) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

Figura 4.38a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) y se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (60 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (30 kbps) respectivamente

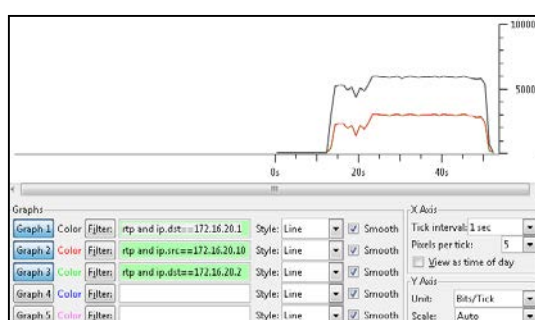


Figura 4.38b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

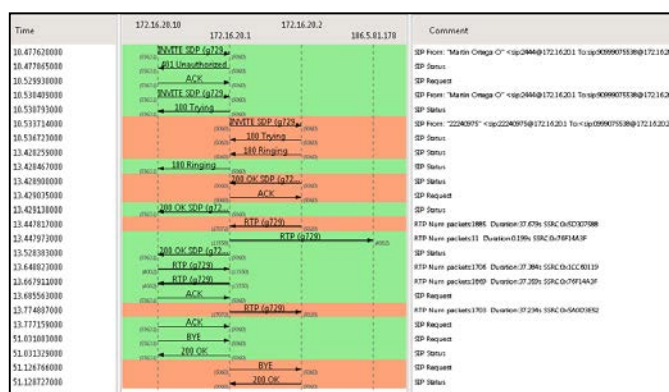


Figura 4.38c. Establecimiento de la llamada SIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene:

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis								
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	
172.16.20.1	13550	186.5.81.178	4002	0x76F14A3F	g729	11	0 (0,0%)	
172.16.20.1	13550	172.16.20.10	4002	0x76F14A3F	g729	1869	0 (0,0%)	
172.16.20.1	17072	172.16.20.2	5020	0x5A0D3E52	g729	1703	0 (0,0%)	
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	13550	0x1CC60119	g729	1706	165 (8,8%)	
172.16.20.2	5020	172.16.20.1	17072	0x5D307588	g729	1885	0 (0,0%)	

Figura 4.38d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.1 port 13550 to 172.16.20.10 port 4002 SSRC = 0x76F14A3F							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
7045	31535	15,95	0,19	0,39	24,40		[Ok]
7051	31536	20,08	0,18	0,31	24,40		[Ok]
7055	31537	20,01	0,17	0,30	24,40		[Ok]
7057	31538	19,94	0,17	0,36	24,40		[Ok]
7059	31539	19,97	0,16	0,39	24,40		[Ok]
7065	31540	20,08	0,15	0,32	24,40		[Ok]
7067	31541	19,96	0,14	0,36	24,40		[Ok]
7073	31542	20,05	0,14	0,31	24,40		[Ok]

Max delta = 68,04 ms at packet no. 5522
 Max jitter = 6,15 ms. Mean jitter = 0,21 ms.
 Max skew = -47,87 ms.
 Total RTP packets = 1869 (expected 1869) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 37,16 s (-75 ms clock drift, corresponding to 7884 Hz (-8,28%))

Figura 4.38e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

f) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1514	105.419470000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5C3A508E, Seq=21205, Time=168270419
1515	105.419587000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5C3A508E, Seq=50753, Time=168270416
1516	105.432988000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	94	PT=G726-32, SSRC=0x6C01226A, Seq=15227, Time=480
1517	105.439313000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x8581878, Seq=21286, Time=168270579
1518	105.439451000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5C3A508E, Seq=50754, Time=168270576
1519	105.492301000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x6C01226A, Seq=15228, Time=940
1520	105.452464000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x74B48ECC, Seq=45899, Time=408
1521	105.459426000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x8581878, Seq=21287, Time=168270739
1522	105.459572000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5C3A508E, Seq=50755, Time=168270736
1524	105.468630000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x6C01226A, Seq=15229, Time=900
1525	105.468651000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x6C01226A, Seq=15230, Time=960
1526	105.468801000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x74B48ECC, Seq=45900, Time=568
1527	105.468852000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x74B48ECC, Seq=45901, Time=728
1529	105.479373000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x8581878, Seq=21288, Time=168270889
1530	105.479544000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5C3A508E, Seq=50756, Time=168270896
1531	105.499544000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x8581878, Seq=21289, Time=168270959
1532	105.499476000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5C3A508E, Seq=50757, Time=168270956
1534	105.500796000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x6C01226A, Seq=15231, Time=1120
1535	105.500927000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x74B48ECC, Seq=45902, Time=688
1536	105.519365000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x8581878, Seq=21290, Time=1682709219
1537	105.519495000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5C3A508E, Seq=50758, Time=1682709216
1538	105.533631000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x6C01226A, Seq=15232, Time=1280

Figura 4.39a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.726-32 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.726-32 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (139 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (52 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (87 kbps)

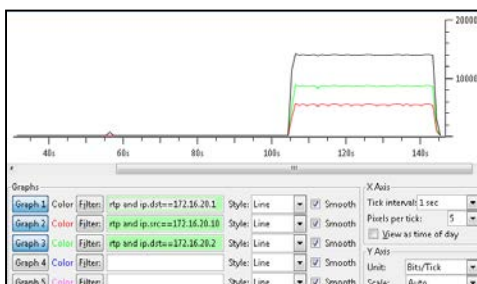


Figura 4.39b. Ancho de banda de la llamada de VoIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

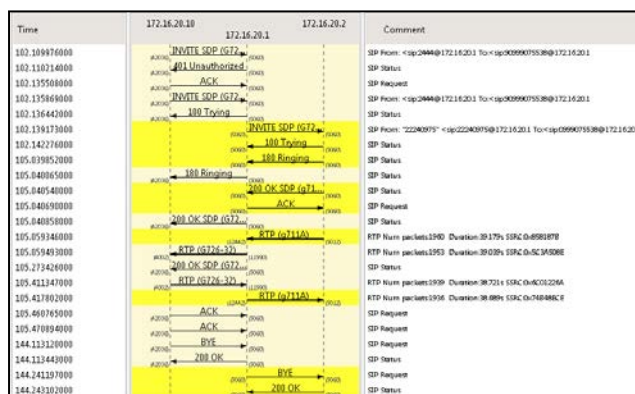


Figura 4.39c. Establecimiento de la llamada SIP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene:

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	11990	172.16.20.10	4002	0x5C3A508E	G726-32	1953	0 (0,0%)
172.16.20.1	12442	172.16.20.2	5012	0x74B48ECE	g711A	1936	0 (0,0%)
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	11990	0x6C01226A	G726-32	1939	0 (0,0%)
172.16.20.2	5012	172.16.20.1	12442	0x859187B	g711A	1960	0 (0,0%)

Figura 4.39d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4002 to 172.16.20.1 port 11990 SSRC = 0x6C01226A							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
7757	16672	24,73	9,77	7,32	48,00		[Ok]
7759	16673	6,14	10,02	21,19	48,96		[Ok]
7761	16674	3,16	10,45	30,03	49,92		[Ok]
7767	16675	43,44	11,26	14,59	48,96		[Ok]
7771	16676	6,05	11,43	20,53	48,96		[Ok]
7773	16677	15,64	10,00	32,90	48,96		[Ok]
7779	16678	25,23	10,63	27,67	48,96		[Ok]
7784	16679	32,17	10,72	15,50	48,00		[Ok]

Max delta = 66,58 ms at packet no. 9565
 Max jitter = 15,20 rms. Mean jitter = 11,04 ms.
 Max skew = 45,20 rms.
 Total RTP packets = 1939 (expected 1939) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 38,72 s (-1973 ms clock drift, corresponding to 7592 Hz (-5,10%))

Figura 4.39e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

g) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1515	120.344291000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	74	PT=speex, SSRC=0x1139D4DA, Seq=19565, Time=160, Mark
1516	120.344424000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x2COA52BA, Seq=60476, Time=160, Mark
1517	120.345654000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	74	PT=speex, SSRC=0x1139D4DA, Seq=19566, Time=320
1518	120.345795000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x2COA52BA, Seq=60477, Time=320
1519	120.352198000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7AC47A46, Seq=25214, Time=130506887
1520	120.352361000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x19CE61BA, Seq=59714, Time=130506880
1521	120.372128000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7AC47A46, Seq=25215, Time=130507047
1522	120.372302000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x19CE61BA, Seq=59715, Time=130507040
1523	120.386334000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	74	PT=speex, SSRC=0x1139D4DA, Seq=19567, Time=480
1524	120.386468000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x2COA52BA, Seq=60478, Time=480
1525	120.387264000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	74	PT=speex, SSRC=0x1139D4DA, Seq=19568, Time=640
1526	120.387381000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x2COA52BA, Seq=60479, Time=640
1527	120.392215000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7AC47A46, Seq=25216, Time=130507207
1528	120.392355000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x19CE61BA, Seq=59716, Time=130507200
1529	120.412121000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7AC47A46, Seq=25217, Time=130507367
1530	120.412294000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x19CE61BA, Seq=59717, Time=130507360
1531	120.424401000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	74	PT=speex, SSRC=0x1139D4DA, Seq=19569, Time=800
1532	120.424500000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x2COA52BA, Seq=60480, Time=800
1533	120.424979000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	74	PT=speex, SSRC=0x1139D4DA, Seq=19570, Time=960
1534	120.425121000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x2COA52BA, Seq=60481, Time=960
1535	120.432220000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7AC47A46, Seq=25218, Time=130507527
1536	120.432380000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x19CE61BA, Seq=59718, Time=130507520
1537	120.431216000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	74	PT=speex, SSRC=0x1139D4DA, Seq=19571, Time=1120

[Frame 1510]: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0
 [Ethernet II, Src: Hewlett-a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: SamsungE-6a:c1:99 (f4:09:d8:6a:c1:99)]
 [Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 172.16.20.10 (172.16.20.10)]
 [User Datagram Protocol, Src Port: 14146 (14146), Dst Port: 4000 (4000)]
 [Real-Time Transport Protocol]

```

0000 f4 09 d8 6a c1 99 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ...j.....8v..E.
0010 00 2e 00 00 40 00 40 11 b9 db ac 10 14 01 ac 10 ...8.@.....
  
```

Figura 4.40a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec Speex-16 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec Speex-16 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (117 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (30 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (87 kbps)

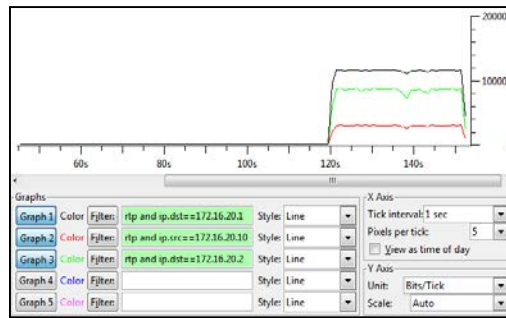


Figura 4.40b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

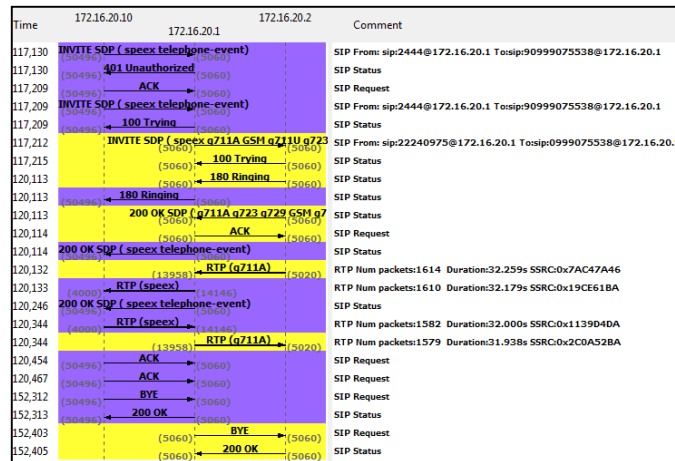


Figura 4.40c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene:

Detected 4 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	14146	172.16.20.10	4000	0x19CE61BA	speex	1610	0 (0,0%)
172.16.20.1	13958	172.16.20.2	5020	0x2C0A52BA	g711A	1579	0 (0,0%)
172.16.20.10	4000	172.16.20.1	14146	0x1139D4DA	speex	1582	20 (1,2%)
172.16.20.2	5020	172.16.20.1	13958	0x7AC47A46	g711A	1614	0 (0,0%)

Figura 4.40d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
5137	20409	12,53	9,81	16,41	23,52		[OK]
5147	20410	57,39	11,63	-20,30	22,56		[OK]
5148	20411	0,03	12,15	-1,80	23,04		[OK]
5151	20412	0,36	12,62	18,64	23,52		[OK]
5160	20413	50,63	13,74	-11,99	23,52		[OK]
5162	20414	0,68	14,09	7,33	24,00		[OK]
5166	20415	23,31	12,42	4,02	24,00		[OK]
5177	20416	13,95	13,16	-8,93	23,52		[OK]

Max delta = 220,37 ms at packet no. 8233
 Max jitter = 27,34 ms. Mean jitter = 13,23 ms.
 Max skew = -105,39 ms.
 Total RTP packets = 1602 (expected 1602) Lost RTP packets = 28 (1,75%) Sequence errors = 13
 Duration 32,80 s (-3392 ms clock drift, corresponding to 7552 Hz (-18,60%))

Figura 4.40e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

h) Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
180	9.462758000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25AE53F8, Seq=12078, Time=1741108725
181	9.463023000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37408, Time=1741108720
183	9.482547000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25AE53F8, Seq=12079, Time=1741108885
184	9.482819000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37409, Time=1741108880
185	9.493050000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37410, Time=1741108935
186	9.493673000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x722440D7, Seq=47079, Time=1752
187	9.493683000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x722440D7, Seq=47080, Time=1752
188	9.502629000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25AE53F8, Seq=12080, Time=1741109045
189	9.518512000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37411, Time=1741109100
190	9.518680000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x722440D7, Seq=47081, Time=1912
191	9.522833000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25AE53F8, Seq=12081, Time=1741109205
192	9.522932000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37410, Time=1741109200
193	9.542615000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25AE53F8, Seq=12082, Time=1741109365
194	9.542915000	172.16.20.1	172.16.20.10	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37411, Time=1741109360
195	9.549445000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37410, Time=1741109365
196	9.549585000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x722440D7, Seq=47082, Time=2072
197	9.549597000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x722440D7, Seq=47083, Time=2232
198	9.562566000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25AE53F8, Seq=12083, Time=1741109525
199	9.580040000	172.16.20.10	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x72419EE, Seq=37411, Time=1741109520
200	9.580050000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x722440D7, Seq=47084, Time=2392
201	9.582619000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25AE53F8, Seq=12084, Time=1741109685

Figura 4.41a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec iLBC-13.33 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec iLBC-13.33 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12

bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a. Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (119 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (29 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (90 kbps)

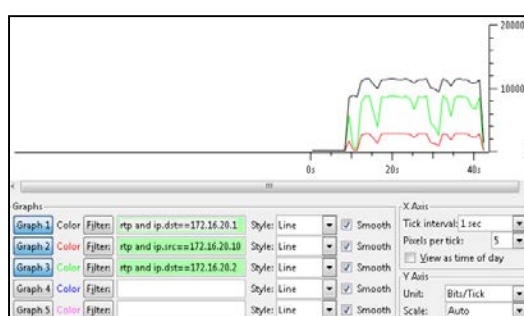


Figura 4.41b. Ancho de banda de la llamada de VoIP- Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

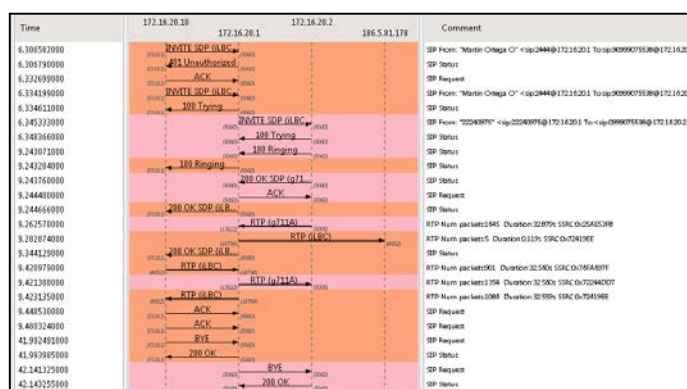


Figura 4.41c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtiene:

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis							
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost
172.16.20.1	14794	186.5.81.178	4002	0x72419EE	iLBC	5	0 (0,0%)
172.16.20.1	13822	172.16.20.2	5008	0x72244DD7	g711A	1354	0 (0,0%)
172.16.20.1	14794	172.16.20.10	4002	0x72419EE	iLBC	1086	0 (0,0%)
172.16.20.10	4002	172.16.20.1	14794	0x76FA697F	iLBC	901	0 (0,0%)
172.16.20.2	5008	172.16.20.1	13822	0x25AE53F8	g711A	1645	0 (0,0%)

Figura 4.41d. RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.10 port 4002 to 172.16.20.1 port 14794 SSRC = 0x76FA697F							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
2644	1166	23,07	13,93	-7,99	24,48		[Ok]
2651	1167	24,13	13,43	-2,12	25,20		[Ok]
2654	1168	32,99	12,78	-5,11	24,48		[Ok]
2661	1169	37,54	12,45	-12,65	24,48		[Ok]
2666	1170	41,33	12,38	-23,89	24,48		[Ok]
2669	1171	2,59	13,32	3,42	24,48		[Ok]
2678	1172	47,97	13,61	-14,55	23,76		[Ok]
2683	1173	27,81	12,90	-12,36	24,48		[Ok]

Max delta = 74,99 ms at packet no. 969
 Max jitter = 17,80 ms. Mean jitter = 11,83 ms.
 Max skew = -41,48 ms.
 Total RTP packets = 901 (expected 901) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 32,56 s (-103 ms clock drift, corresponding to 7973 Hz (-0,33%))

Figura 4.41e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.5.8. Análisis de resultados del escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular

Una vez obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.8.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP

Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio										
códec	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	88	88	176	73,82	14,83	0	871	4	Comunicación estable
G.711a	214	87	87	174	121,63	19,19	0,47	1707	4.5	Excelente
GSM	87	35	35	70	54,65	13,88	0	1446	4.5	Excelente
G.722	214	85	85	170	20,5	0,25	0	959	4.5	Excelente
G.729	74	30	30	60	68,04	6,19	0	1869	4.5	Excelente
G.726-32	134	52	87	139	66,58	15,2	0	1939	3.5	Se atenúa la voz
Speex-16	75	30	87	117	220,37	27,34	1,25	1602	3.5	Se atenúa la voz
iLBC-13.33	104	29	90	119	74,99	17	0	901	4.7	Excelente

Tabla 4.8. Resultados de las capturas de tramas RTP-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada en éste caso con el protocolo SIP es cercano a la suma de los valores teóricos (véase capítulo 3) de los anchos de banda que manejan los códecs en cada canal, considerando que se necesitan dos canales para establecer la comunicación. Por lo tanto se establece éste subescenario también como muy próximo a un escenario ideal. De ésta manera se tiene el tamaño real de los códecs de voz, su ancho de banda, PPS y MOS, como se indica en la tabla 4.9a, la cual es similar a las tablas 4.3a, 4.5a y 4.7a anteriormente indicadas. Se realiza una comparación de los valores prácticos y teóricos de los códecs de voz. Para cada trama RTP que incluye al códec respectivo se resta el tamaño de su cabecera (12 bytes \cong 5 kbps).

código	Valores teóricos de los códecs de voz				Valores prácticos reales de los códecs de voz - prueba de laboratorio				
	Tamaño de una trama RTP calculado o tamaño del código sin cabecera (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP (kbps)	PPS basado en el Frame Size	MOS 1 a 5	Tamaño de una trama RTP sin cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda o Bit Rate sin cabecera RTP, canal origen de la llamada de VoIP (kbps)	PPS calculado basado en el Frame Size (véase capítulo 3)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
G.711u	160	64	50	4.3	202	83	51,36	4	Comunicación estable
G.711a	160	64	50	4.3	202	82	50,74	4.5	Excelente
GSM	33	13	50	3.5	75	30	50,00	4.5	Excelente
G.722	160	64	50	4.1 a 4.5	202	80	49,50	4.5	Excelente
G.729	20	8	50	4	62	25	50,40	4.5	Excelente
G.726-32	80	32	50	4	122	47	48,16	3.5	Se atenúa la voz
Speex-16	40	16	50	3.78	63	25	49,60	3.5	Se atenúa la voz
iLBC-13.33	50	13,33	33,33	3.74 a 4.14	92	24	32,61	4.7	Excelente

Tabla 4.9a. Comparación de códecs de voz, valores teóricos y prácticos-Escenario de prueba 1.Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

Se puede apreciar que con los códecs: G.711u, G.711a y G.722 se tiene un mayor ancho de banda (en un canal de la llamada de VoIP con protocolo SIP) y un menor ancho de banda con los códecs: GSM, Speex-16, G.729 e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio, similar a la tabla 4.3b, 4.5b y 4.7b. Esto se observa en la tabla 4.9b.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.711u	88	Mayor
G.711a	87	Mayor
G.722	85	Mayor
G.726-32	52	Intermedio
GSM	35	Menor
Speex-16	30	Menor
G.729	30	Menor
iLBC-13.33	29	Menor

Tabla 4.9b. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular.

Fuente el autor

En la tabla 4.9c, se ordena según la latencia de la trama RTP, teniendo con el códec G.722 el menor valor seguido del GSM en cambio con el códec Speex-16 se presenta una alta latencia, si se compara con el valor teórico. Con el resto de códecs se está dentro del parámetro recomendado.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
G.722	20,5	SI
GSM	54,65	SI
G.726-32	66,58	SI
G.729	68,04	SI
G.711u	73,82	SI
iLBC-13.33	74,99	SI
G.711a	121,63	SI
Speex-16	220,37	NO

Tabla 4.9c. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con el códec G.722 seguido del G.729 se adquieren valores bajos y con el Speex-16 se presenta un mayor valor. Con todos los códecs si se cumple con el valor recomendado. Indicado en la tabla 4.9d.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
G.722	0,25	SI
G.729	6,19	SI
GSM	13,88	SI
G.711u	14,83	SI
G.726-32	15,2	SI
iLBC-13.33	17	SI
G.711a	19,19	SI
Speex-16	27,34	SI

Tabla 4.9d. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

La pérdida de paquetes en las tramas RTP son pequeñas para con todos los códecs, excepto con el Speex-16, como se observa en la tabla 4.9e.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
Speex-16	1,25	NO
G.711a	0,47	SI
G.711u	0	SI
GSM	0	SI
G.722	0	SI
G.729	0	SI
G.726-32	0	SI
iLBC-13.33	0	SI

Tabla 4.9e. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. En este caso se

identifica que los mejores resultados son con los códecs: iLBC-13.33, G.711a, GSM, G.722 y G.729, teniendo un bajo rendimiento con los códecs: G.726-32 y Speex-16, como se indica en la tabla 4.9f.

Valores prácticos reales-prueba de laboratorio		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
iLBC-13.33	4.7	Excelente
G.711a	4.5	Excelente
GSM	4.5	Excelente
G.722	4.5	Excelente
G.729	4.5	Excelente
G.711u	4	Comunicación estable
G.726-32	3.5	Se atenúa la voz
Speex-16	3.5	Se atenúa la voz

Tabla 4.9f. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.9c, 4.9d, 4.9e y 4.9f se tiene que con el grupo de códecs: G.711a, G.711u y G.722 (banda ancha) se adquieren los mejores resultados. De igual manera con los códecs: GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) se cumplen con los valores deseados. Para con los códecs: G726-32 y Speex-16 no se cumplen en su totalidad con los parámetros necesarios.

Realizando un análisis comparativo general de todos los parámetros de QoS de las llamadas de VoIP con sus respectivos códecs, en el escenario de prueba 1 con los códecs: G.711a y G.722 para banda ancha y con los códecs: G.729 e iLBC-13.33 para banda angosta se tienen los mejores resultados en las llamadas de VoIP.

4.6. LEVANTAMIENTO DEL ESCENARIO DE PRUEBA 2

Se realiza el levantamiento del escenario de prueba 2 (pruebas de campo): Red WLAN externa y/o plan de servicios de internet y datos móviles 3G, con el softphone (instalado en un teléfono móvil celular inteligente) configurado con la dirección IP pública de la Institución 186.5.81.178 asignada por el proveedor de servicios de internet y datos CEDIA (Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado). Cuando se realiza una llamada, mediante la IP pública registrada en la cuenta SIP del softphone, ésta es redireccionada al Gateway del Servidor de VoIP Elastix 2.3.0 de la Institución.

Los valores medidos de los parámetros de QoS en las llamadas de VoIP varían con relación a los valores ideales teóricos, debido al medio por el cual se transmiten los paquetes RTP sean éstos guiados o radioeléctricos, por la distancia, el enrutamiento, etc. Las pruebas se realizan utilizando el escritorio remoto con conexión VPN (Virtual Private Network) desde una red externa como se indica en la figura 4.42:

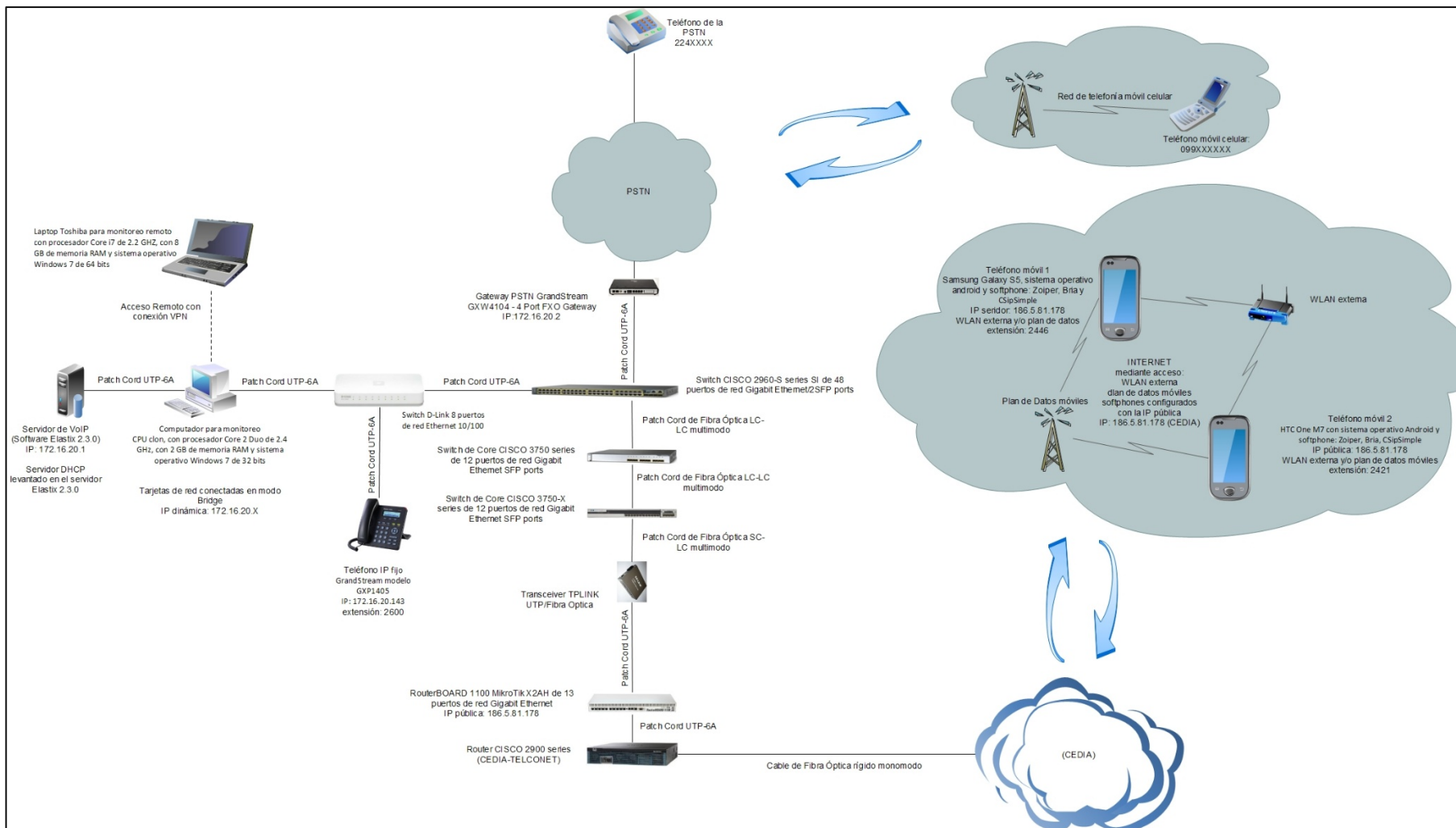


Figura 4.42. Esquema del escenario de prueba 2, para análisis de los códecs de voz. Fuente el autor

4.6.1. Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones

Se realizan llamadas reales de prueba como se observa en la figura 4.10a, con un total de 8 códecs propuestos anteriormente y se habilitan cada uno de ellos en los softphones. Estos códecs son soportados por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con IP pública (redireccionada, indicada inicialmente) de extensión 2446 al teléfono móvil 2 con IP pública (igualmente redireccionada) de extensión 2421, o viceversa (refiérase a la figura 4.42).

Se efectúan las capturas de los paquetes con el software Wireshark el cual es de uso libre, aplicando filtros para la visualización del protocolo RTP que transporta en tiempo real la voz con su respectivo códec.

a) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u

Se habilita en los dos softphones éste mismo códec y se realizan las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
200	28.6491070	172.16.20.1	10.112.146.247	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14804, Time=1225879960
201	28.6630950	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x56D669EC, Seq=32455, Time=1225880516
203	28.7070460	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3902, Time=1225880123
204	28.7074880	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14803, Time=1225880120
205	28.7232970	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3903, Time=1225880285
206	28.7232820	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14806, Time=1225880280
207	28.7314430	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3904, Time=1225880443
208	28.7321820	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14807, Time=1225880440
209	28.7344120	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3905, Time=1225880603
210	28.7348510	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14808, Time=1225880600
212	28.7678130	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3906, Time=1225880763
213	28.7683150	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14809, Time=1225880760
214	28.7708480	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3907, Time=1225880923
215	28.7712420	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14810, Time=1225880920
216	28.7818630	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x56D669EC, Seq=32456, Time=1225880516
217	28.8043370	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3908, Time=1225881083
218	28.8044170	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x4FB00504, Seq=3909, Time=1225881243
219	28.8057920	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14811, Time=1225881080
220	28.8060650	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x78C0073E, Seq=14812, Time=1225881240

Filter: rtp
 Expression: Clear Apply Save
 Frame 198: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-...a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.112.146.247 (10.112.146.247)
 User Datagram Protocol, Src Port: 12982 (12982), Dst Port: 4000 (4000)
 Real-time Transport Protocol
 0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B... ..Bv..E.
 0010 00 c8 00 00 40 00 40 11 05 f4 sc 10 14 01 08 70 ...0.0.p
 0020 92 f7 32 b6 0f a0 00 b4 00 73 80 00 39 03 49 11 ..2.... .9..1.
 0030 70 f8 78 20 8f 34 79 fd 7c f9 15 fd 78 6f 71 76 P...2Y; i...KXWV
 0040 22 a2 8f 6d 00 8f 68 20 a0 28 11 28 7b 22 76 28 28 P...2Y; i...KXWV

Figura 4.43a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.

Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec, comparando con lo obtenido en el escenario de prueba 1, se verifica que es el mismo por lo tanto los tamaños de la trama RTP y del códec no cambian (véase tabla 4.2 y 4.3a). Se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP y se adquieren valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (240 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (240 kbps)



Figura 4.43b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Time	172.16.20.254	172.16.20.1	10.132.146.247	Comment
17.207961000				SIP From: "Martin Ortega O" <sp-244@172.16.20.1.500> To:sp-241@172.16.20.1.506
17.208425000				SIP Status:
17.547928000				SIP Status:
17.768125000				SIP From: "Martin Ortega O" <sp-244@172.16.20.1.500> To:sp-241@172.16.20.1.506
18.067926000				SIP Status:
18.279537000				SIP From: "Martin Ortega O" <sp-244@172.16.20.1.500> To:sp-241@172.16.20.1.506
18.445494000				SIP Request:
18.606918000				SIP From: "Martin Ortega O" <sp-244@172.16.20.1.500> To:sp-241@172.16.20.1.506
18.607696000				SIP Status:
18.614066000				SIP From: "Martin Ortega O" <sp-244@172.16.20.1.500> To:sp-242@172.16.20.254.12029
18.614066000				SIP Status:
18.665361000				SIP Request:
18.699361000				SIP Status:
18.785959000				SIP From: "Martin Ortega O" <sp-244@172.16.20.1.500> To:sp-241@172.16.20.1.506
18.786387000				SIP Status:
18.847019000				SIP Request:
18.869403000				SIP Status:
18.869973000				SIP Status:
27.537994000				RTP Num: packets:2515 Duration: 50.989s SSRC:0x49D05D4
27.563664000				SIP Status:
27.564276000				SIP Request:
27.564336000				SIP Status:
27.57278000				RTP Num: packets:54 Duration: 1.076s SSRC:0x78C0073E
27.924213000				SIP Status:
28.34459000				SIP Status:
28.663095000				RTP Num: packets:2031 Duration: 49.009s SSRC:0x5026699C
28.707488000				RTP Num: packets:2499 Duration: 48.991s SSRC:0x78C0073E
29.922127000				RTP Num: packets:2028 Duration: 49.951s SSRC:0x70777194

Figura 4.43c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP, se obtienen: la dirección IP origen y destino, el tipo de códec, latencia, jitter, perdida de paquetes, indicados en las figuras 4.43d y 4.43e.

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.16.20.1	12982	172.16.20.254	10580	0x9C0C073E	g711u	54	0 (0.0%)	72.621009	14.873552	14.844722
172.16.20.1	12982	172.16.20.254	10580	0x9C0C073E	g711u	2498	0 (0.0%)	398.965000	26.363525	14.657873
172.16.20.1	17346	172.16.20.254	12788	0x78377184	g711u	3028	0 (0.0%)	3217.327000	112.9336467313	85662.233387
172.16.20.254	12788	172.16.20.1	17346	0x4F0D05D4	g711u	2555	3 (0.1%)	198.890000	26.334025	14.688971
172.16.20.254	10580	172.16.20.1	12982	0x56D6B9EC	g711u	2031	0 (0.0%)	518.329000	112.434887	11.396117

Figura 4.43d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.254 port 10580 to 172.16.20.1 port 12982 SSRC = 0x56D6B9EC						
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Status
364	32461	440,78	74,78	-1340,56	4,80	[Ok]
368	32462	19,97	70,11	-1340,53	6,40	[Ok]
380	32463	94,74	70,40	-1415,20	8,00	[Ok]
382	32464	5,30	66,92	-1400,57	9,60	[Ok]
384	32465	5,36	63,65	-1385,93	11,20	[Ok]
386	32466	12,33	60,15	-1378,26	12,80	[Ok]
392	32467	20,25	56,41	-1378,51	14,40	[Ok]
394	32468	22,59	53,05	-1381,09	16,00	[Ok]

Max delta = 519,33 ms at packet no. 301
 Max jitter = 112,63 ms. Mean jitter = 11,39 ms.
 Max skew = -1846,36 ms.
 Total RTP packets = 2031 (expected 2031) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 49,01 s (715 ms clock drift, corresponding to 8117 Hz (+1,46%))

Figura 4.43e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711u.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

b) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

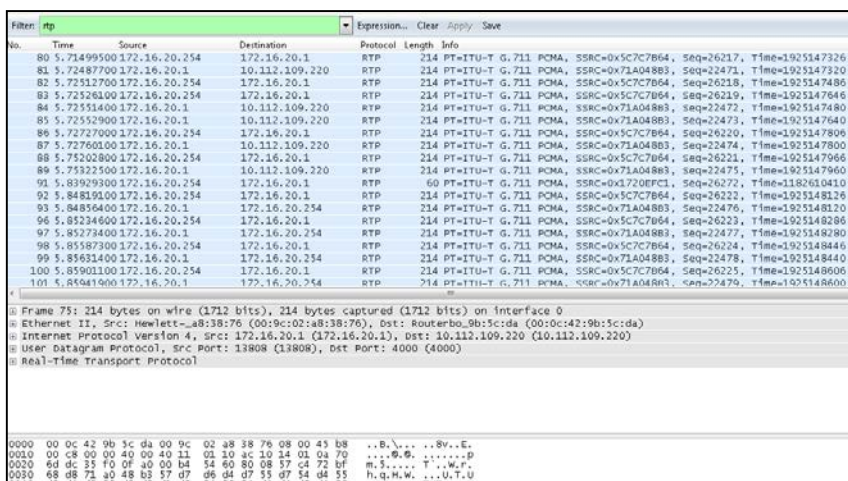


Figura 4.44a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a.
Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que mantienen sus tamaños (véase tabla 4.2 y 4.3a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se obtienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (186 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (186 kbps)

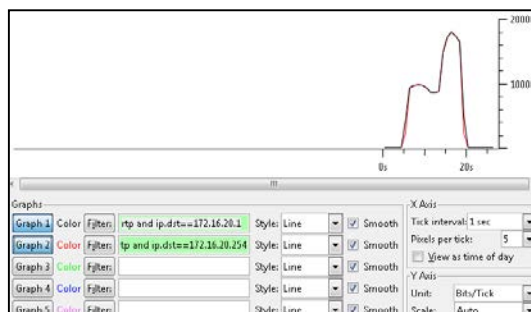


Figura 4.44b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

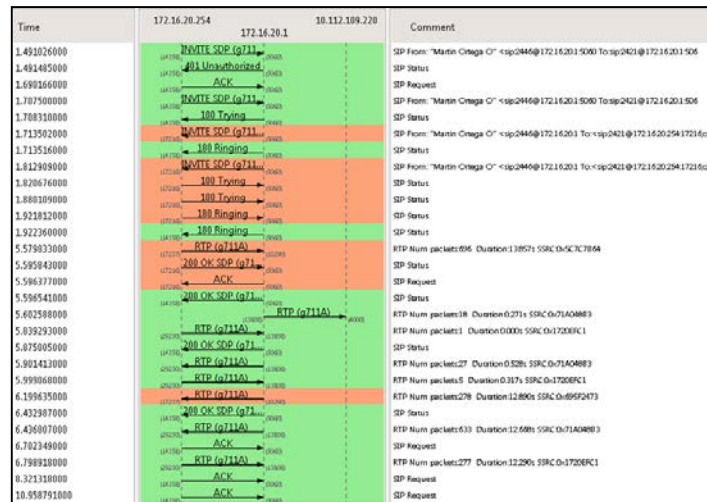


Figura 4.44c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP.

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.16.20.1	13000	10.112.189.220	4000	0x71A048E3	g711a	11	0 (0.0%)	94,76600	8,945519	23,203912
172.16.20.1	13000	172.16.20.254	29230	0x71A048E3	g711a	667	0 (0.0%)	111,434000	23,624453	14,752433
172.16.20.1	10200	172.16.20.254	17237	0x695F2473	g711a	278	0 (0.0%)	2556,553000	829321,889280	531703,848881
172.16.20.254	17237	172.16.20.1	30290	0x5C7C7854	g711a	696	0 (0.0%)	205,184000	30,234289	15,189599
172.16.20.254	29230	172.16.20.1	13000	0x1720EFC1	g711a	283	0 (0.0%)	839,653000	357,687939	38,488856

Figura 4.44d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
530	26297	270,09	106,50	-3230,63	12,00		[Ok]
559	26298	162,97	108,78	-3381,60	11,20		[Ok]
569	26299	117,60	100,09	-3479,27	11,20		[Ok]
588	26300	119,75	107,57	-2579,02	11,20		[Ok]
600	26301	119,64	107,07	-3678,66	11,20		[Ok]
614	26302	121,07	106,70	-3779,72	11,20		[Ok]
630	26303	119,54	106,25	-3879,27	11,20		[Ok]
641	26304	118,11	105,74	-3977,30	12,00		[Ok]

Max delta = 839,65 ms at packet no. 752
 Max jitter = 357,69 ms. Mean jitter = 38,49 ms.
 Max skew = -4079,45 ms.
 Total RTP packets = 283 (expected 283) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 13,25 s (1822 ms clock drift, corresponding to 9302 Hz (+13,78%))

Figura 4.44e Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.711a. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

c) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
419	65.6809040	172.16.20.1	10.112.146.247	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47657, Time=1629999344
420	65.6853970	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1891, Time=1629999510
421	65.6857390	172.16.20.1	10.112.146.247	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47658, Time=1629999504
422	65.6918230	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=GSM 06.10, SSRC=0x25E40190, Seq=3584, Time=1939010862
423	65.7187900	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1892, Time=1629999670
428	65.7190790	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47659, Time=1629999664
428	65.7328930	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1893, Time=1629999830
428	65.7331030	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47660, Time=1629999824
430	65.7652120	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1894, Time=1629999990
431	65.7655830	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47661, Time=1629999984
433	65.7800720	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1895, Time=1630000150
434	65.7804810	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47662, Time=1630000144
435	65.8053790	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1896, Time=1630000310
436	65.8057410	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47663, Time=1630000304
437	65.8099060	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1897, Time=1630000470
438	65.8098300	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=GSM 06.10, SSRC=0x25E40190, Seq=3585, Time=1939010862
439	65.8101610	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47664, Time=1630000464
442	65.8350840	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x3EF6C33E, Seq=1898, Time=1630000630
443	65.8354790	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x484980F0, Seq=47665, Time=1630000624

Frame 418: 87 bytes on wire (696 bits), 87 bytes captured (696 bits) on Interface 0
 # Ethernet II, Src: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:a2:9b:5c:da), Dst: Hewlett- a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.254 (172.16.20.254), Dst: 172.16.20.1 (172.16.20.1)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 12812 (12812), Dst Port: 15314 (15314)
 # Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 9c 02 a8 38 76 00 0c 42 9b 5c da 08 00 45 00  ....Sv..0....E.
0010 00 49 00 00 40 00 31 11 c8 84 ac 10 14 fe ac 10  ..I..0.1.....
0020 14 01 32 0c 3b d2 00 35 bc 38 80 03 07 62 61 27  ..?...8...ba'
0030 00 f6 3e f6 c2 3e d7 5c 83 26 2c 78 40 46 0b 8d  ..>... \&..BP..
0040 00 72 32 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ..>... \&..BP..
  
```

Figura 4.45a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM.
Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.2 y 4.3a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (92 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (92 kbps)

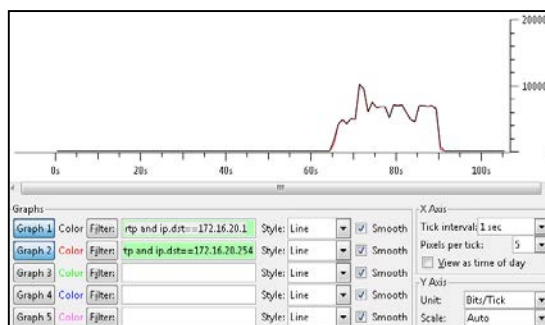


Figura 4.45b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

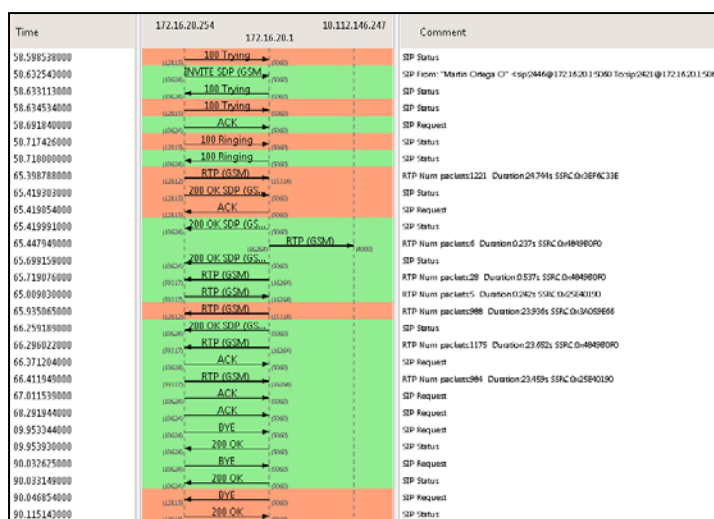


Figura 4.45c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.16.20.1	15264	10.112.146.247	4098	0x48498090	GSM	6	0 (0.0%)	168,343000	12,002059	33,975988
172.16.20.1	15264	172.16.20.254	59317	0x48498090	GSM	1263	0 (0.0%)	248,242000	38,592018	16,524678
172.16.20.1	15314	172.16.20.254	12912	0x3A089666	GSM	988	0 (0.0%)	869,293000	93,255682	15,173383
172.16.20.254	12912	172.16.20.1	15314	0x3EFA6C33E	GSM	1221	9 (0.7%)	248,282000	38,578477	16,220728
172.16.20.254	59317	172.16.20.1	15264	0x2EFA0190	GSM	990	0 (0.0%)	402,898000	88,641895	14,914283

Figura 4.45d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	JP BW(kbps)	Marker	Status
510	3590	360,06	34,04	-620,33	3,56		[OK]
512	3591	78,34	36,31	-678,66	4,14		[OK]
519	3592	41,45	35,38	-700,12	4,73		[OK]
536	3593	38,30	34,31	-718,41	5,31		[OK]
542	3594	41,63	33,52	-740,04	5,90		[OK]
545	3595	40,42	32,70	-760,47	6,48		[OK]
551	3596	38,07	31,79	-778,54	7,06		[OK]
595	3597	402,10	53,68	-1160,64	4,67		[OK]

Max delta = 402,10 ms at packet no. 595
 Max jitter = 80,85 ms. Mean jitter = 14,01 ms.
 Max skew = -2579,76 ms.
 Total RTP packets = 399 (expected 390) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 24.18 s (-1432 ms clock drift, corresponding to 1528 Hz (-5,00%))

Figura 4.45e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec GSM.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
210	16.8765810	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22939AC7, Seq=7476, Time=2049092140
211	16.8769900	172.16.20.1	10.112.146.247	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x34200E3C, Seq=60469, Time=2049092136
212	16.8794110	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22939AC7, Seq=7477, Time=2049092300
213	16.8797880	172.16.20.1	10.112.146.247	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x34200E3C, Seq=60470, Time=2049092296
214	16.9729820	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22939AC7, Seq=7479, Time=2049092620
215	16.9733540	172.16.20.1	10.112.146.247	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x34200E3C, Seq=60471, Time=2049092616
219	17.3449690	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x30F52E4E, Seq=4033, Time=474866602
222	17.4223640	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x30F52E4E, Seq=4034, Time=474866602
224	17.5424690	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x30F52E4E, Seq=4035, Time=474866762, Mark
225	17.5813170	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x30F52E4E, Seq=4036, Time=474866922
226	17.5819400	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2031494A, Seq=4841, Time=0, Mark
229	17.9826950	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x30F52E4E, Seq=4037, Time=474867082
230	17.9831110	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2031494A, Seq=4842, Time=474867080
231	18.0619450	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x30F52E4E, Seq=4038, Time=474867242
232	18.0623540	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2031494A, Seq=4843, Time=474867240
233	18.1822030	172.16.20.1	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x30F52E4E, Seq=4039, Time=474867402
234	18.1825730	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x2031494A, Seq=4844, Time=474867400
235	18.2346760	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x22939AC7, Seq=7480, Time=2049092780
236	18.2350670	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x54200E3C, Seq=60473, Time=2049092776

Filter: rtp
 Expression: Clear Apply Save
 # Frame 204: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-Packard (00:09:53:00:00:00), Dst: Routerbo_0b:Scid (00:0c:14:21:9b:5c:da)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.112.146.247 (10.112.146.247)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 17114 (17114), Dst Port: 4000 (4000)
 # Real-Time Transport Protocol
 0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B.\....8v...E.
 0010 00 c8 00 00 40 00 40 11 db f4 ac 10 34 01 0a 70 ...8.0.0
 0020 92 ff 42 da 0f a0 00 b4 8d 1b 90 09 ec 32 7a 22 ..B.....2
 0030 a8 48 54 2d 0e 5c f7 f9 fe 3c fe d5 57 88 95 7d .HT-.\...&.W.{}

Figura 4.46a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722.
Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.2 y 4.3a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (180 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (180 kbps)

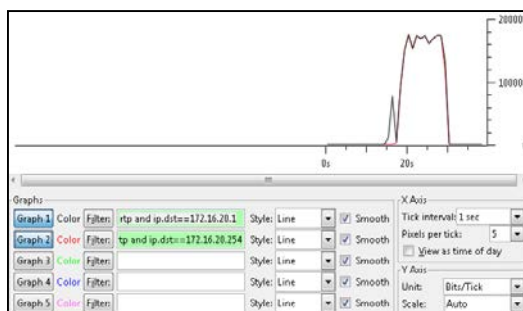


Figura 4.46b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

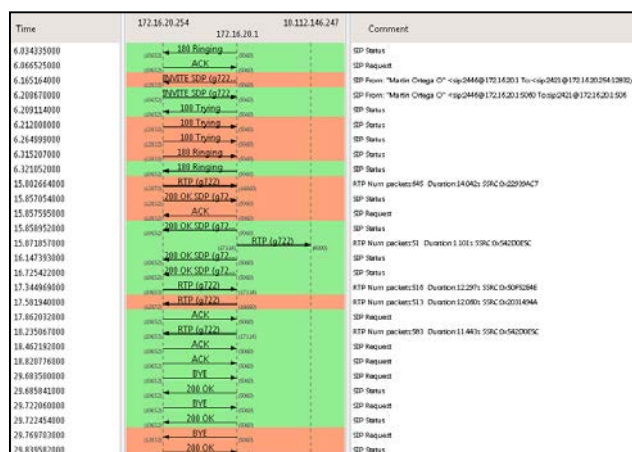


Figura 4.46c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Plt
172.16.20.1	17124	10.112.129.247	4000	0x04D85C	g722	51	0.00%	91.56000	20.39283	18.00267	
172.16.20.1	16680	172.16.20.254	18872	0x001040	g722	503	0.00%	708.33000	330993.99932	12532.50480	
172.16.20.1	17124	172.16.20.254	20553	0x04D85C	g722	993	0.00%	154.45000	76.50304	1264370	
172.16.20.254	18872	172.16.20.1	16680	0x0293AC7	g722	645	57.03%	1261.04000	331.48364	21.514053	X
172.16.20.254	18853	172.16.20.1	17114	0x06F52E4E	g722	516	0.00%	720.137000	86.91996	11.813155	

Figura 4.46d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
229	4037	401,18	34,42	-577,73	4,16		[Ok]
231	4039	79,25	35,90	-636,90	5,76		[Ok]
233	4039	120,26	39,99	-737,23	7,36		[Ok]
323	4040	720,32	81,26	-1437,55	6,40		[Ok]
325	4041	18,06	76,24	-1436,61	8,00		[Ok]
327	4042	20,35	71,50	-1436,96	9,60		[Ok]
333	4043	18,51	67,06	-1436,47	11,20		[Ok]
343	4044	40,42	64,15	-1456,89	11,20		[Ok]

Max delta = 720,32 ms at packet no. 323
 Max jitter = 86,92 ms. Mean jitter = 11,81 ms.
 Max skew = -1917,56 ms.
 Total RTP packets = 516 (expected 516) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 12,20 s (525 ms clock drift, corresponding to 0340 Hz (+4,35%))

Figura 4.46e Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.722. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

e) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
541	13.6434020	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25129, Time=1312102788
542	13.6437820	172.16.20.1	10.112.129.26	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24737, Time=1312102784
543	13.6706350	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25130, Time=1312102948
544	13.6710130	172.16.20.1	10.112.129.26	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24738, Time=1312102944
546	13.6805440	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25131, Time=1312103108
547	13.6808960	172.16.20.1	10.112.129.26	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24739, Time=1312103104
548	13.7124540	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x0F0420CC, Seq=21951, Time=635067896
549	13.7389090	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25132, Time=1312103268
550	13.7393180	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24740, Time=1312103264
551	13.7415780	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25133, Time=1312103428
552	13.7419280	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24741, Time=1312103424
553	13.7475810	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25134, Time=1312103588
554	13.7479250	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24742, Time=1312103584
556	13.7602560	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25135, Time=1312103748
557	13.7606520	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24743, Time=1312103744
559	13.8034440	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25136, Time=1312103908
560	13.8038200	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x2C7416FF, Seq=24744, Time=1312103904
561	13.8064230	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7EC0071, Seq=25137, Time=1312104068

Frame 536: 74 bytes on wire (592 bits), 74 bytes captured (592 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-ast:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.112.129.26 (10.112.129.26)
 User Datagram Protocol, Src Port: 14916 (14916), Dst Port: 4000 (4000)
 Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..B... ..Bv..E.
0010 00 3c 00 00 40 11 ee 5d ac 10 14 04 0a 70    .c...@...p
0020 81 1a 3a 44 0f 40 00 20 b4 d0 80 12 60 9e 4e 35  .D...(. ...N5
0030 17 40 2c 74 16 ff 79 d3 f8 58 57 62 58 d2 cd 15  .t...y..xwBx...
    
```

Figura 4.47a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.2 y 4.3a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (90 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (90 kbps)

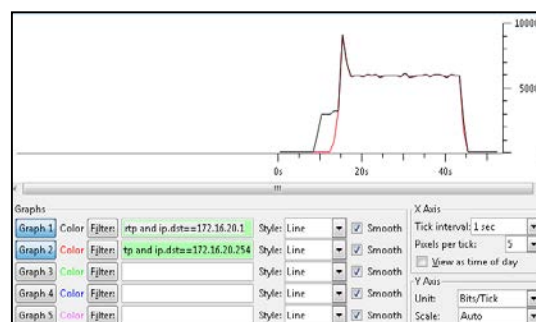


Figura 4.47b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.47c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	PKT
172.16.20.1	1916	172.16.20.254	4002	0x0C418FF	g729	201	0 (0.0%)	65.685086	18.580486	15.731259	
172.16.20.1	1916	172.16.20.254	4013	0x0C418FF	g729	157	0 (0.0%)	124.013000	21.79443	15.725486	
172.16.20.1	1904	172.16.20.254	1801	0x0609096	g729	158	0 (0.0%)	441.615000	19.359969	11.31188	
172.16.20.254	1801	172.16.20.1	1904	0x0C418FF	g729	117	0 (0.0%)	181.612000	11.111404	15.389444	X
172.16.20.254	4013	172.16.20.1	1916	0x0F410EC	g729	1543	0 (0.0%)	441.540000	61.545600	11.133487	

Figura 4.47d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta (ms)	Filtered Jitter (ms)	Skew (ms)	JP BW (kbps)	Marker	Status
680	21956	441,57	57,14	-1001,29	2,16		[Ok]
681	21957	0,02	54,81	-901,31	2,64		[Ok]
712	21958	240,14	65,15	-1201,45	2,40		[Ok]
713	21959	0,01	62,32	-1181,45	2,88		[Ok]
719	21960	23,87	58,67	-1185,33	3,36		[Ok]
720	21961	0,02	56,25	-1165,34	3,84		[Ok]
721	21962	0,00	53,99	-1145,35	4,32		[Ok]
725	21963	13,76	51,00	-1139,30	4,80		[Ok]

Max delta = 441,57 ms at packet no. 680
 Max jitter = 65,15 ms. Mean jitter = 11,63 ms.
 Max skew = -1201,45 ms.
 Total RTP packets = 1543 (expected 1543) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 30,62 s (272 ms clock drift, corresponding to 8071 Hz (+0,80%))

Figura 4.47e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.729. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

f) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
173	28.0084840	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5626, Time=2560
174	28.0087620	172.16.20.1	192.168.0.113	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x76073A5B, Seq=56903, Time=2560
175	28.0111160	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	94	PT=g726-32, SSRC=0x3DEA80BF, Seq=15969, Time=160, Mark
176	28.0146190	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5627, Time=2720
177	28.0150090	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x76073A5B, Seq=56904, Time=2720
178	28.0160580	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	94	PT=g726-32, SSRC=0x3DEA80BF, Seq=15970, Time=320
179	28.0164310	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5628, Time=320, Mark
180	28.0546120	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x3DEA80BF, Seq=15971, Time=480
181	28.0549960	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5629, Time=480
182	28.0570080	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x3DEA80BF, Seq=15972, Time=640
183	28.0573790	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5630, Time=640
185	28.0658180	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5628, Time=2880
186	28.0662100	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x76073A5B, Seq=56905, Time=2880
187	28.0680380	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5629, Time=3040
188	28.0683900	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x76073A5B, Seq=56906, Time=3040
190	28.0942140	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5630, Time=3200
191	28.0940480	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x76073A5B, Seq=56907, Time=3200
192	28.0963740	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x3DEA80BF, Seq=15973, Time=900
193	28.0967450	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=g726-32, SSRC=0x51493F30, Seq=5630, Time=900

Frame 154: 134 bytes on wire (1072 bits), 134 bytes captured (1072 bits) on Interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-...:a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo...:9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.113 (192.168.0.113)
 User Datagram Protocol, Src Port: 19416 (19416), Dst Port: 4002 (4002)
 Real-time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B.\...SV..E.
0010 00 78 00 00 40 00 40 11 b8 92 ac 10 14 02 c0 a8 .x..@.0.....
0020 00 71 4b 0f 0f 00 6d 70 89 8f 8f 8f 8f 8f 8f .G.....d p..s...
0030 05 00 76 02 31 3b ff ff ff ff ff ff ff ff
    
```

Figura 4.48a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.2 y 4.3a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (110 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (110 kbps)

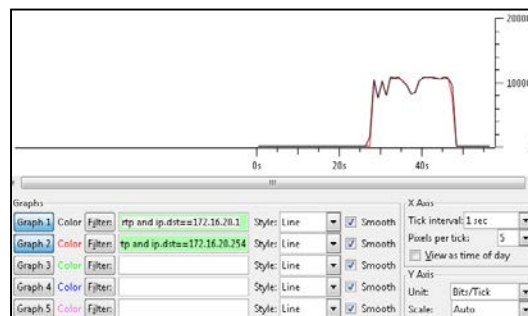


Figura 4.48b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Time	172.16.20.254	172.16.78.1	192.168.0.133	Comment
20.309103000		INVITE SIP (672)		SIP From: <sp2421@172.16.20.1.9000> To:<sp2440@172.16.20.1.9000>
20.309503000		RTT Unauthorized		SIP Status
20.424569000		ACK		SIP Request
20.444526000		INVITE SIP (672)		SIP From: <sp2421@172.16.20.1.9000> To:<sp2440@172.16.20.1.9000>
20.445437000		100 Trying		SIP Status
20.450392000		INVITE SIP (672)		SIP From: "Gabriel Toalongo" <sp2421@172.16.20.1> To:<sp2440@172.16.20.2941.MG2008>
20.450417000		100 Ringing		SIP Status
20.548740000		INVITE SIP (672)		SIP From: "Gabriel Toalongo" <sp2421@172.16.20.1> To:<sp2440@172.16.20.2941.MG2008>
20.571370000		100 Ringing		SIP Status
20.633397000		100 Ringing		SIP Status
20.634018000		100 Ringing		SIP Status
20.655293000		100 Ringing		SIP Status
27.700074000		RTP (G726-32)		RTP Num: packets:907 Duration:20.046; SSRC:0x5480970
27.822824000		200 OK SIP (672)		SIP Status
27.823495000		ACK		SIP Request
27.823608000		200 OK SIP (672)		SIP Status
27.824279000		RTP (G726-32)		RTP Num: packets:11 Duration:0.176; SSRC:0x7637345E
27.889814000		200 OK SIP (672)		SIP Status
28.011116000		RTP (G726-32)		RTP Num: packets:294 Duration:19.987; SSRC:0x02A8289F
28.015009000		RTP (G726-32)		RTP Num: packets:88 Duration:19.846; SSRC:0x7637345E
28.016431000		RTP (G726-32)		RTP Num: packets:951 Duration:19.947; SSRC:0x02A8289F
28.061874000		ACK		SIP Request
28.066677000		ACK		SIP Request
47.698695000		BYE		SIP Request
47.698223000		200 OK		SIP Status
47.796205000		BYE		SIP Request
47.863404000		200 OK		SIP Status

Figura 4.48c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis											
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Plt.
172.16.20.1	19416	192.168.1.113	4062	057073A08	G726-32	11	0 (0.0%)	30,140900	5,059210	3,475210	
172.16.20.1	19418	172.16.20.254	14644	057073A08	G726-32	895	0 (0.0%)	681,950000	72,905140	11,261980	
172.16.20.1	15316	172.16.20.254	14644	055A86E5	G726-32	931	0 (0.0%)	270,649000	22,204012	12,364305	
172.16.20.254	14644	172.16.20.1	15316	055A86E5	G726-32	937	99 (9.75%)	678,939000	71,827111	13,272456	X
172.16.20.254	14646	172.16.20.1	15316	055E408F	G726-32	934	31 (3.2%)	279,789000	22,055013	12,837110	X

Figura 4.48d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analyzing stream from 172.16.20.254 port 14644 to 172.16.20.1 port 15316 SSRC = 055A86E5							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Slew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
141	5611	0,00	0,00	0,00	0,98	SET	[OK]
142	5612	2,27	1,11	17,73	1,92		[OK]
143	5613	2,96	2,10	34,77	2,80		[OK]
144	5614	6,85	2,79	47,92	3,84		[OK]
145	5615	22,71	2,79	45,21	4,80		[OK]
149	5616	38,89	3,80	26,22	5,76		[OK]
151	5617	19,17	3,62	27,05	6,72		[OK]
153	5618	2,39	4,40	44,66	7,68		[OK]

Max delta = 638,92 ms at packet no. 487
 Max jitter = 73,83 ms. Mean jitter = 13,27 ms.
 Max slew = 409,32 ms.
 Total RTP packets = 1005 (expected 1005) Lost RTP packets = 99 (9.75%) Sequence errors = 26
 Duration 20,05 s (-638 ms clock drift, corresponding to 7745 Hz (-3.18%))

Figura 4.48e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec G.726-32. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

g) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1660	18.2724730	172.16.20.1	10.112.110.137	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x5F8A2F4F, Seq=47679, Time=1791237000
1661	18.2907870	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x88712FE4, Seq=8516, Time=1791237167
1662	18.2909040	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x88712FE4, Seq=8517, Time=1791237327
1663	18.2913330	172.16.20.1	10.112.110.137	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x5F8A2F4F, Seq=47680, Time=1791237160
1664	18.2913620	172.16.20.1	10.112.110.137	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x5F8A2F4F, Seq=47681, Time=1791237320
1668	18.2941630	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x185CB7E4, Seq=63480, Time=2895541688, Mark
1669	18.2945190	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x602E6285, Seq=11700, Time=2895541688, Mark
1670	18.3140520	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x185CB7E4, Seq=63482, Time=2895542008
1671	18.3140730	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x185CB7E4, Seq=63483, Time=2895542168
1672	18.3146180	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x602E6285, Seq=11701, Time=2895542008
1673	18.3146570	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x602E6285, Seq=11702, Time=2895542168
1674	18.3336510	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x185CB7E4, Seq=63484, Time=2895542328
1675	18.3336680	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x185CB7E4, Seq=63485, Time=2895542488
1676	18.3336700	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x185CB7E4, Seq=63486, Time=2895542648
1677	18.3342000	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x602E6285, Seq=11703, Time=2895542328
1678	18.3342500	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x602E6285, Seq=11704, Time=2895542488
1679	18.3342730	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x602E6285, Seq=11705, Time=2895542648
1680	18.3317080	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x185CB7E4, Seq=63487, Time=2895542808

```

# Frame 1656: 75 bytes on wire (600 bits), 75 bytes captured (600 bits) on interface 0
# Ethernet II, Src: Hewlett-...a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
# Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.112.110.137 (10.112.110.137)
# User Datagram Protocol, Src Port: 15098 (15098), Dst Port: 59874 (59874)
# Real-time Transport Protocol
#
0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B....8v..E.
0010 00 3d 00 00 40 00 11 00 ee ac 10 14 01 0a 70 ...d...p
0020 0e 89 3a 1a e9 e2 00 79 83 ff 80 8e ba 3d 6a c4 m.....G...J
0030 1a 48 5f 8a 2f 4f 1b 9d ee 00 5c be 75 bd 8e 54 .M.../O...u..T

```

Figura 4.49a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16.
Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.2 y 4.3a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (80 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (80 kbps)



Figura 4.49b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor



Figura 4.49c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Frames	Lost	Max Delta (ms)	Max jitter (ms)	Mean jitter (ms)	Seq. No.
172.16.20.1	15598	10.112.110.137	17651	0x0562424f	speex	60	0 (0.0%)	308.264000	37.676292	24.222967	
172.16.20.1	15598	172.16.20.254	17651	0x0562424f	speex	2687	0 (0.0%)	272.138000	38.573487	13.238228	
172.16.20.1	15598	172.16.20.254	45159	0x0562424f	speex	2595	0 (0.0%)	326.548000	34.712653	12.127248	
172.16.20.254	45159	172.16.20.1	17651	0x08712FE4	speex	2079	25 (0.9%)	178.618000	37.629699	22.981246	X
172.16.20.254	45159	172.16.20.1	17651	0x08712FE4	speex	2687	28 (0.9%)	272.138000	36.481518	13.238228	X

Figura 4.49d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1423	8462	15,71	3,49	62,71	2,44		[OK]
1424	8463	0,28	4,49	82,43	2,93		[OK]
1427	8464	11,39	4,75	93,04	3,42		[OK]
1428	8465	0,11	5,69	110,93	3,90		[OK]
1429	8466	0,24	6,57	130,69	4,39		[OK]
1433	8467	15,98	6,16	130,71	4,88		[OK]
1434	8468	0,83	7,83	150,68	5,37		[OK]
1438	8469	28,88	6,64	145,88	5,86		[OK]

Max delta = 379,68 ms at packet no. 1634
 Max jitter = 37,63 ms. Mean jitter = 12,35 ms.
 Max skew = 450,76 ms.
 Total RTP packets = 2695 (expected 2695) Lost RTP packets = 25 (0,92%) Sequence errors = 6
 Duration 53,47 s (14 ms clock drift, corresponding to 8002 Hz (+0,02%))

Figura 4.49e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec Speex-16. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

h) Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33

Se habilita en los dos softphones el mismo códec de voz obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
445	15.3572090	172.16.20.1	192.168.0.113	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x4BC51F13, Seq=24758, Time=2031480776
447	15.3960390	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x479F898D, Seq=20168, Time=2031481023
448	15.3964770	172.16.20.1	192.168.0.113	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x4BC51F13, Seq=24759, Time=2031481016
452	15.4256580	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=iLBC, SSRC=0x50CAEC36, Seq=694, Time=412468189
453	15.4347740	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=iLBC, SSRC=0x50CAEC36, Seq=695, Time=412468189
455	15.4385230	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x50CAEC36, Seq=696, Time=412468429, Mark
456	15.4389340	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x38C1CA30, Seq=49571, Time=412468424, Mark
458	15.4751410	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x50CAEC36, Seq=697, Time=412468669
459	15.4755900	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x38C1CA30, Seq=49572, Time=412468664
460	15.4757320	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x479F898D, Seq=20169, Time=2031481263
461	15.4761020	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x4BC51F13, Seq=24760, Time=2031481256
462	15.5148380	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x479F898D, Seq=20170, Time=2031481503
464	15.5152240	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x4BC51F13, Seq=24761, Time=2031481496
465	15.5165230	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x50CAEC36, Seq=698, Time=412468909
466	15.5168560	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x38C1CA30, Seq=49573, Time=412468904
467	15.5474440	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x50CAEC36, Seq=699, Time=412469149
468	15.5478910	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x38C1CA30, Seq=49574, Time=412469144
469	15.5517970	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x50CAEC36, Seq=700, Time=412469389

Frame 443: 104 bytes on wire (832 bits), 104 bytes captured (832 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-...a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo...9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.113 (192.168.0.113)
 User Datagram Protocol, Src Port: 17110 (17110), Dst Port: 4006 (4006)
 Real-time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  .B.\... ..v..E.
0010 00 5a 00 00 40 00 40 11 b8 00 ac 10 14 01 c0 a8  .Z..@.....
0020 00 71 42 06 0f a6 00 46 b9 f7 80 e6 60 b5 79 15  .0B....F....y.
0030 ee d8 4b c5 1f 13 ff a6 3f fa 63 20 14 14 00 00  .k.....?C....
  
```

Figura 4.50a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33.

Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.2 y 4.3a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (60 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen más destino (60 kbps)

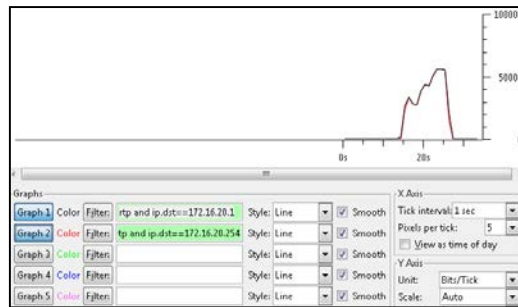


Figura 4.50b. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

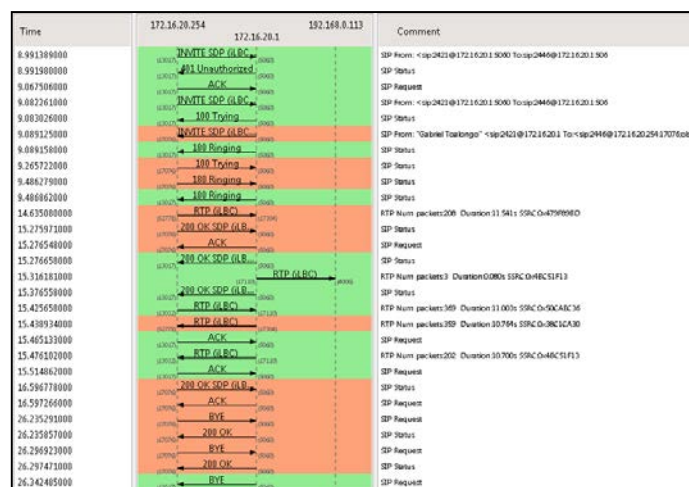


Figura 4.50c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Selected RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Seq. num	Seq. num	Dir. code	Dir. code	SSRC	Payload	Packets	Len	Max. Delta (ms)	Max. jitter (ms)	Mean jitter (ms)
112.16.20.1	17133	192.168.0.113	4066	0x46C5F13	iLBC	3	1 (0.0%)	43,02000	2,02542	6,765133
172.16.20.1	17134	172.16.20.254	52770	0x90CA3C16	iLBC	359	1 (0.0%)	342,853000	29,352397	14,991487
172.16.20.1	17133	172.16.20.254	13632	0x46C5F13	iLBC	202	1 (0.0%)	2478,843000	339,864381	32,181742
172.16.20.254	52779	172.16.20.1	17504	0x479989E0	iLBC	200	1 (0.0%)	557,410000	342,829256	23,918030
172.16.20.254	13632	172.16.20.1	17133	0x90CA3C16	iLBC	309	1 (0.0%)	352,418000	29,393373	14,991423

Figura 4.50d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
460	30169	39,89	35,30	-69,65	4,24		[Ok]
462	30170	39,11	33,67	-69,76	4,96		[Ok]
471	30171	40,30	32,21	-710,13	5,60		[Ok]
477	30172	80,28	33,34	-760,41	6,00		[Ok]
482	30173	39,39	33,84	-769,80	6,00		[Ok]
489	30174	80,11	32,60	-819,91	7,52		[Ok]
493	30175	40,31	31,57	-830,22	7,92		[Ok]
499	30176	40,19	30,23	-840,41	8,64		[Ok]

Analyzing stream from 172.16.20.234 port 52778 to 172.16.20.1 port 17304 SSRC = 0x479f9980
 Max delta = 557,43 ms at packet no. 571
 Max jitter = 142,03 ms. Mean jitter = 23,52 ms.
 Max skew = -1571,54 ms.
 Total RTP packets = 288 (expected 288) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 11,54 s (-891 ms clock drift, corresponding to 7383 Hz (-7,72%))

Figura 4.50e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones con códec iLBC-13.33. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.6.2. Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones

Obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.10.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP.

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo									
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	120	120	240	519,33	112,63	0	2031	1.5	Bastante retardo y se corta la voz
G.711a	214	93	93	186	839,65	357,69	0	283	1.5	Bastante retardo y se corta la voz
GSM	87	46	46	92	402,1	88,85	0	990	3	Un poco de retardo
G.722	214	90	90	180	720,32	86,92	0	516	2.5	Se degrada la voz (robotiza) y existe ruido
G.729	74	45	45	90	441,57	65,15	0	1543	3	Se atenúa la voz y se retarda
G.726-32	134	55	55	110	638,92	73,03	9,75	1005	1	No se escucha la voz
Speex-16	75	40	40	80	379,68	37,63	0,93	2695	2.5	Bastante retardo
iLBC-13.33	104	30	30	60	557,43	142,03	0	208	3.5	Un poco de retardo pero aceptable

Tabla 4.10. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada de VoIP en éste caso con el protocolo SIP tiene una variación un poco elevada con relación a los valores obtenidos en el escenario de prueba 1 (véase la tabla 4.3b). Se puede apreciar que con los códecs: G.711u, G.711a y G.722 se tiene un mayor ancho de banda (en un canal de la llamada de VoIP con protocolo SIP) y un menor ancho de banda con los códecs: GSM, G.729, Speex-16 e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio. Esto se observa en la tabla 4.11a.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.711u	120	Mayor
G.711a	93	Mayor
G.722	90	Mayor
G.726-32	55	Intermedio
GSM	46	Menor
G.729	45	Menor
Speex-16	40	Menor
iLBC-13.33	30	Menor

Tabla 4.11a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

Al comparar las latencias en las tramas RTP, con ninguno de los códecs se está cumpliendo con este parámetro teórico. Como se indica en la tabla 4.11b.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
Speex-16	379,68	NO
GSM	402,1	NO
G.729	441,57	NO
G.711u	519,33	NO
iLBC-13.33	557,43	NO
G.726-32	638,92	NO
G.722	720,32	NO
G.711a	839,65	NO

Tabla 4.11b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con el códec Speex-16 seguido del G.729 se obtienen valores bajos, con el G.711u e iLBC-13.33 se supera un poco el valor teórico y con el G.711a en cambio es muy elevado. Indicado en la tabla 4.11c.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
Speex-16	37,63	SI
G.729	65,15	SI
G.726-32	73,03	SI
G.722	86,92	SI
GSM	88,85	SI
G.711u	112,63	NO
iLBC-13.33	142,03	NO
G.711a	357,69	NO

Tabla 4.11c. Jitter en una trama RTP con los códec de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones.

Fuente el autor

La pérdida de paquetes en las tramas RTP con el códec G.726-32 es elevada comparada con los demás que se encuentran dentro de lo requerido, como se observa en la tabla 4.11d.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
G.726-32	9,75	NO
Speex-16	0,93	SI
G.711u	0	SI
G.711a	0	SI
GSM	0	SI
G.722	0	SI
G.729	0	SI
iLBC-13.33	0	SI

Tabla 4.11d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códec de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales

han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. Se identifica que el mejor resultado es con el códec iLBC-13.33 seguido del GSM y G.729, siendo el rendimiento más bajo con el G.726-32, como se indica en la tabla 4.11e.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
iLBC-13.33	3.5	Un poco de retardo pero aceptable
GSM	3	Un poco de retardo
G.729	3	Se atenúa la voz y se retarda
Speex-16	2.5	Bastante retardo
G.722	2.5	Se degrada la voz (robotiza) y existe ruido
G.711u	1.5	Bastante retardo y se corta la voz
G.711a	1.5	Bastante retardo y se corta la voz
G.726-32	1	No se escucha la voz

Tabla 4.11e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.11b, 4.11c, 4.11d y 4.11e se verifica que con ninguno de los códecs se cumple el parámetro teórico de latencia. En general en las llamadas de VoIP con su respectivo códec se obtuvieron mejores resultados con el GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) a pesar de que no cumplen en su totalidad con los parámetros teóricos necesarios debido a las pérdidas ocasionadas por los factores indicados anteriormente en la transmisión de las tramas RTP. Considerándose a éstos códecs como los más aceptables en éste subescenario de prueba. Comparando con el escenario de prueba 1. Llamada entre dos softphones (cercano al ideal) se establecen como los más apropiados los códecs: G.729 e iLBC-13.33.

4.6.3. Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo

Se realizan llamadas reales de prueba (véase figura 4.18a) con un total de 8 códecs mencionados anteriormente, habilitando cada uno de ellos en el softphone. Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con IP pública (redireccionada, como se mencionó anteriormente) de extensión 2446, a un teléfono IP fijo con IP: 172.16.20.143 de extensión 2600 (refiérase a la figura 4.42). Se habilita en el softphone el códec determinado, pero teniendo en cuenta que el códec que utilice el teléfono IP fijo es de acuerdo a la configuración indicada en figura 4.3b. Además dependerá si el códec es soportado por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). El códec del softphone puede ser heredado por el teléfono IP fijo siempre que éste esté también disponible en el mismo, caso contrario será recodificado por el servidor de VoIP.

a) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
228	16.6127880	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27732, Time=4440640
229	16.6194430	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47071, Time=4440800
230	16.6198470	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27733, Time=4440800
231	16.6395430	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47072, Time=4440960
232	16.6395560	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27734, Time=4440960
233	16.6322120	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x301E69AC, Seq=18383, Time=1055783011
235	16.6597130	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47073, Time=4441120
236	16.6601350	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27735, Time=4441120
237	16.6791050	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47074, Time=4441280
238	16.6795010	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27736, Time=4441280
240	16.6991530	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47075, Time=4441440
241	16.6994360	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27737, Time=4441440
242	16.7191420	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47076, Time=4441600
243	16.7205620	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27738, Time=4441600
245	16.7394710	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47077, Time=4441760
246	16.7398930	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27739, Time=4441760
247	16.7592820	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x2758996F, Seq=47078, Time=4441920
248	16.7597430	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCM, SSRC=0x57942345, Seq=27740, Time=4441920

Filter: rtp
 Expression: Clear Apply Save
 # Frame 226: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett_A8138:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 14686 (14686), Dst Port: 4000 (4000)
 # Real-Time Transport Protocol

```

0000  00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..B. .... ..8V..E.
0010  00 c8 00 00 40 00 40 11 d0 1e ac 10 14 01 da 71  ...0.0. ....:q
0020  9e cc 39 5e 0f 30 00 b4 72 38 80 80 6c 53 00 43  ..0A.... ....TS.C
  
```

Figura 4.51a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (210 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (105 kbps) respectivamente

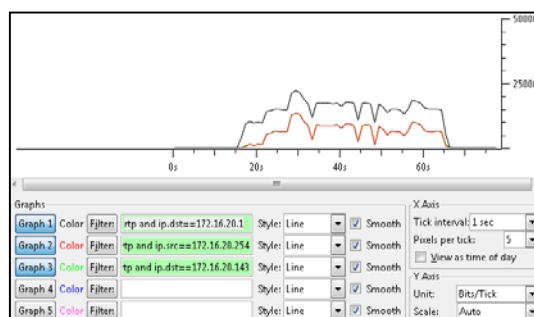


Figura 4.51b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

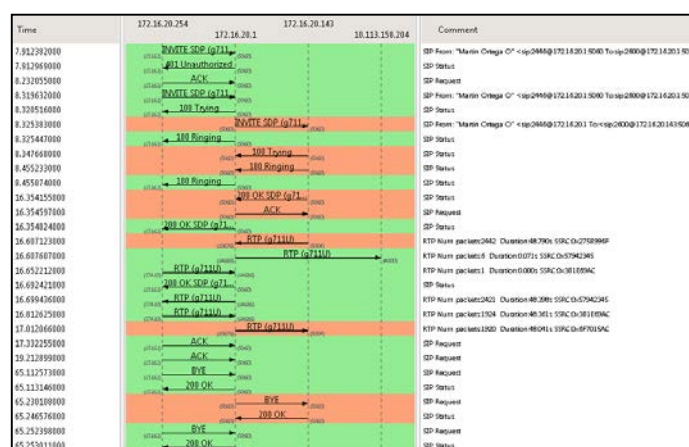


Figura 4.51c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	PSF
172.16.20.1	14886	10.113.158.204	4000	0x7942540	g711u	4	0 (0.0%)	19.709000	1.671111	7.812750	
172.16.20.1	14886	172.16.20.254	37420	0x7942540	g711u	243	0 (0.0%)	31.000000	2.205400	0.796315	
172.16.20.1	18676	172.16.20.143	5084	0x6f7925a0	g711u	3510	0 (0.0%)	948.424000	0.02649640975	0.9402137111	
172.16.20.143	5084	172.16.20.1	18676	0x275899f	g711u	242	0 (0.0%)	32.817000	2.556592	0.834235	
172.16.20.254	37420	172.16.20.1	14886	0x081694c	g711u	2515	1 (0.1%)	461.050000	322.857941	13.050109	X

Figura 4.51d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
358	18389	122,32	50,52	-942,73	7,84		[Ok]
397	18390	357,53	68,45	-1280,26	6,48		[Ok]
398	18391	0,02	65,42	-1260,28	8,00		[Ok]
413	18392	119,59	67,56	-1359,07	9,60		[Ok]
431	18393	152,60	71,62	-1492,47	11,20		[Ok]
442	18394	87,65	71,38	-1560,32	12,80		[Ok]
456	18395	120,38	73,19	-1660,50	12,80		[Ok]
472	18396	120,75	74,91	-1761,25	12,80		[Ok]

Max delta = 461,86 ms at packet no. 555
 Max jitter = 322,46 ms. Mean jitter = 13,85 ms.
 Max skew = -4160,92 ms.
 Total RTP packets = 1926 (expected 1926) Lost RTP packets = 1 (0,05%) Sequence errors = 1
 Duration: 48,52 s (1123 ms clock drift, corresponding to 8185 Hz (+2,31%))

Figura 4.51e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

b) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
371	14.9035160	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52363, TTime=4070560
372	14.9037360	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x371684F, Seq=6680, TTime=1342190603
374	14.9041650	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31786, TTime=4070560
375	14.9231520	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52364, TTime=4070720
376	14.9235810	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31787, TTime=4070720
378	14.9432920	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52365, TTime=4070880
379	14.9436840	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31788, TTime=4070880
381	14.9630260	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52366, TTime=4071040
382	14.9633130	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31789, TTime=4071040
383	14.9833830	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52367, TTime=4071200
385	14.9835780	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31790, TTime=4071200
386	15.0031850	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52368, TTime=4071360
387	15.0036070	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31791, TTime=4071360
388	15.0227170	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52369, TTime=4071520
389	15.0231350	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31792, TTime=4071520
390	15.0232230	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x371684F, Seq=6681, TTime=1342190603
391	15.0426940	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x376C2ACA, Seq=52370, TTime=4071680
392	15.0431340	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x195B73E5, Seq=31793, TTime=4071680

Frame 366: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on Interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett_A8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 User Datagram Protocol, Src Port: 16324 (16324), Dst Port: 4000 (4000)
 Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..E. ....W...E.
0010 00 c8 00 00 40 00 40 11 60 18 ac 10 14 01 08 71 ...R.R. ....17.3
0020 9e c2 3f c4 0f a0 00 34 c1 f0 80 08 7c 28 00 36
    
```

Figura 4.52a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (230 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (115 kbps) respectivamente

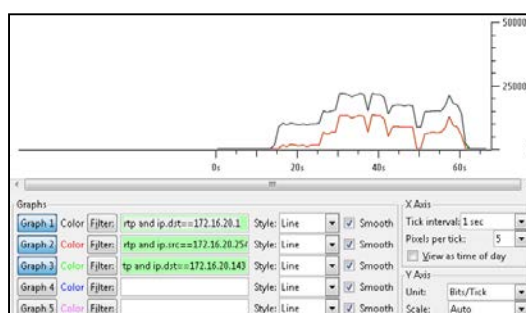


Figura 4.52b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.52c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Sr. sdp	Sr. port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb
172.16.20.1	1624	10.113.158.204	4000	0x1987915	g711A	4	0 (0,0%)	21,40000	4,137024	0,445000	
172.16.20.1	1624	172.16.20.254	15154	0x1987915	g711A	229	0 (0,0%)	25,55000	1,402750	0,720000	
172.16.20.1	14094	172.16.20.143	5004	0x49916467	g711A	185	0 (0,0%)	299,647000	108,678054	35,432063	
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	14254	0x1987915	g711A	235	0 (0,0%)	35,700000	1,311714	0,533403	
172.16.20.254	15154	172.16.20.1	15124	0x171684f	g711A	189	0 (0,0%)	740,254000	218,829314	34,100084	

Figura 4.52d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
552	6686	0,89	79,61	-1499,73	7,36		[OK]
553	6687	0,01	75,88	-1479,74	8,96		[OK]
506	6688	201,43	87,48	-1741,16	10,56		[OK]
603	6689	119,40	88,22	-1840,57	12,16		[OK]
613	6690	79,08	86,40	-1899,65	13,76		[OK]
625	6691	119,14	87,20	-1990,79	15,36		[OK]
639	6692	80,43	85,52	-2059,22	16,00		[OK]
657	6693	162,56	89,89	-2201,78	17,60		[OK]

Max delta = 760,16 ms at packet no. 1272
 Max jitter = 219,83 ms. Mean jitter = 14,33 ms.
 Max skew = -7179,97 ms.
 Total RTP packets = 1050 (expected 1050) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 45,71 s (8312 ms clock drift, corresponding to 8455 Hz (+18,10%)

Figura 4.52e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

c) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
603	19.89769990	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8767, Time=4860960
606	19.91731510	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55088, Time=4861120
607	19.91771710	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8768, Time=4861120
608	19.93707710	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55089, Time=4861280
609	19.93752910	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8769, Time=4861280
610	19.95710410	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55090, Time=4861440
611	19.95753210	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8770, Time=4861440
612	19.97720910	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55091, Time=4861600
613	19.97763810	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8771, Time=4861600
614	19.99706810	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55092, Time=4861760
615	19.99749810	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8772, Time=4861760
616	19.99787110	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=GSM 06.10, SSRC=0x49916467, Seq=18688, Time=171966216
618	20.01696510	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55093, Time=4861920
619	20.01741810	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8773, Time=4861920
621	20.03740210	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55094, Time=4862080
622	20.03763610	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8774, Time=4862080
623	20.05735510	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55095, Time=4862240
624	20.05761310	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x106AA71, Seq=8775, Time=4862240
626	20.07714610	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x49916467, Seq=55096, Time=4862400

Frame 603: 87 bytes on wire (696 bits), 87 bytes captured (696 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-...a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo...9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 16286 (16286), Dst Port: 4000 (4000)
 # Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..#. .... ..R...E.
0010 00 49 00 00 40 00 40 11 00 9d ac 10 14 01 0a 71  .I..@.. ....q
0020 9c 5c 3f 9e 0f 30 00 35 2e eb 80 03 22 3e 00 4a  ..7.... ..>
    
```

Figura 4.53a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec GSM y el teléfono IP fijo canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec GSM y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (123 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (36 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (87 kbps)

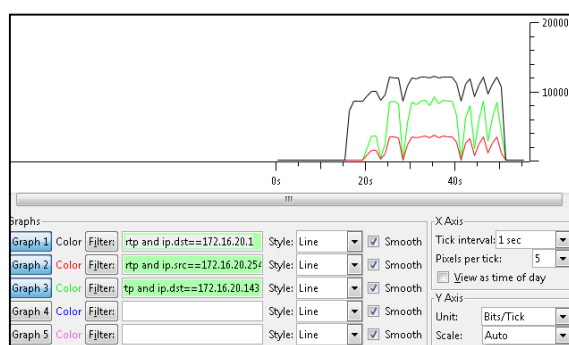


Figura 4.53b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.53c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Last	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pkt
172.16.20.1	34296	10.113.158.204	4000	0x1066A71	GSM	192	0.0.0.0	29.489000	1.551915	0.511915	
172.16.20.1	34296	172.16.20.254	37423	0x1066A71	GSM	194	0.0.0.0	31.970000	2.225105	0.615105	
172.16.20.1	5084	172.16.20.143	5084	0x49E7F07	G711A	1076	0.0.0.0	1781.3410000	114.610107	13.085152	
172.16.20.143	5084	172.16.20.1	12499	0x49911619	G711A	1741	0.0.0.0	33.268000	1.697101	0.405627	
172.16.20.254	37423	172.16.20.1	16286	0x49E0E03D	GSM	1078	0.0.0.0	478.620000	115.266155	12.312155	

Figura 4.53d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
698	18692	88,26	35,44	-6,21,97	2,39		[OK]
700	18693	8,62	32,06	-639,59	2,98		[OK]
704	18694	22,47	30,21	-639,05	3,56		[OK]
711	18695	40,50	28,60	-639,55	4,14		[OK]
721	18696	80,06	31,51	-699,61	4,73		[OK]
728	18697	39,50	30,76	-719,10	5,31		[OK]
729	18698	0,13	30,00	-699,23	5,90		[OK]
742	18699	82,27	32,09	-761,50	6,40		[OK]

Analysing stream from 172.16.20.254 port 37423 to 172.16.20.1 port 16286 SSRC = 0x49E0E03D

Max delta = 478.62 ms at packet no. 671
 Max jitter = 115.32 ms. Mean jitter = 12.31 ms.
 Max skew = -1360.87 ms.
 Total RTP packets = 1078 (expected 1078) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 30.34 s (-113 ms clock drift, corresponding to 7970 Hz (-0.37%))

Figura 4.53e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
122	27.3081400	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28861, Time=5109920
123	27.3277970	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13722, Time=5110080
124	27.3281630	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28862, Time=5110080
125	27.3484140	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13723, Time=5110240
126	27.3487940	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28863, Time=5110240
127	27.3674300	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13724, Time=5110400
128	27.3676510	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28864, Time=5110400
130	27.3874480	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13725, Time=5110560
131	27.3877640	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28865, Time=5110560
133	27.3903870	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x31F142A8, Seq=6598, Time=1240949849
134	27.4075690	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13726, Time=5110720
135	27.4080150	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28866, Time=5110720
136	27.4289190	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13727, Time=5110880
138	27.4293860	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28867, Time=5110880
139	27.4475140	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13728, Time=5111040
140	27.4489570	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28868, Time=5111040
141	27.4671890	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13729, Time=5111200
142	27.4676130	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x1A801EE2, Seq=28869, Time=5111200
144	27.4871510	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x15115F88, Seq=13730, Time=5111360

Frame 120: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-Packard [00:90:27:38:76], Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 17766 (17766), Dst Port: 4000 (4000)
 # Real-Time Transport Protocol

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..R.\... ..8v...E.
 0010 00 c8 00 00 40 00 40 11 d0 1e ac 10 14 01 0a 71 ...@.q
 0020 9e ee 43 66 df 40 00 b4 ee 7b 80 89 70 bc 00 4d ...P.....n..

Figura 4.54a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (240 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (120 kbps) respectivamente



Figura 4.54b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor



Figura 4.54c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SRTP	Payload	Packets	Loss	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.16.20.1	1786	10.113.158.204	4880	0x5A83E52	g722	5	0 (0.0%)	21,52300	0,24820	1,40450
172.16.20.1	1786	172.16.20.254	5838	0x5A83E52	g722	1820	0 (0.0%)	34,47200	2,58134	0,78740
172.16.20.1	1786	172.16.20.143	5884	0x5A83E52	g722	1728	0 (0.0%)	63,08000	9694891,84250	8978,56377
172.16.20.143	5884	172.16.20.1	1786	0x5115F10	g722	1846	0 (0.0%)	30,10300	1,88671	0,58335
172.16.20.254	5838	172.16.20.1	1786	0x3F34C84	g722	1732	0 (0.0%)	63,11800	102,85784	12,71708

Figura 4.54d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delay(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
243	6603	118,16	40,74	-879,35	5,76		[OK]
259	6604	121,81	52,89	-881,16	7,04		[OK]
273	6605	118,72	55,85	-1079,80	8,32		[OK]
288	6606	121,24	58,69	-1181,11	8,96		[OK]
303	6607	121,78	61,28	-1282,90	9,60		[OK]
317	6608	123,92	64,04	-1386,82	11,20		[OK]
331	6609	111,69	65,77	-1478,51	12,80		[OK]

Max delay = 693,11 ms at packet no. 2148
 Max jitter = 107,86 ms. Mean jitter = 12,75 ms.
 Max skew = -6120,90 ms.
 Total RTP packets = 132 (expected 132) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration: 36,43 s (4425 ms clock drift, corresponding to 8972 Hz (+12,15%))

Figura 4.54e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

e) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
242	32.0432070	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37069, Time=5410080
243	32.0630390	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23518, Time=5410240
244	32.0638380	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37070, Time=5410240
245	32.0826940	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23519, Time=5410400
246	32.0830890	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37071, Time=5410400
247	32.1030180	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23520, Time=5410560
248	32.1034000	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37072, Time=5410560
249	32.1034640	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x3F03104, Seq=8691, Time=1850759495
251	32.1231420	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23521, Time=5410720
252	32.1235490	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37073, Time=5410720
254	32.1434510	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23522, Time=5410880
255	32.1438440	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37074, Time=5410880
256	32.1629980	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23523, Time=5411040
257	32.1633500	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37075, Time=5411040
258	32.1837890	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23524, Time=5411200
259	32.1831520	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37076, Time=5411200
261	32.2026500	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x7B7FE472, Seq=23525, Time=5411360
262	32.2030410	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x1A2C4E7, Seq=37077, Time=5411360

Frame 238: 74 bytes on wire (592 bits), 74 bytes captured (592 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_0b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 User Datagram Protocol, Src Port: 19612 (19612), Dst Port: 4000 (4000)
 Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..B.\... ..bv..E.
0010 00 3c 00 00 40 00 40 11 00 aa ac 10 14 01 0a 71  .c.@@. ....g
0020 9c cc 4c 9c 0f a0 00 78 a7 43 80 17 90 cb 00 52  .l....f.E.....8
    
```

Figura 4.55a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (94 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (47 kbps) respectivamente

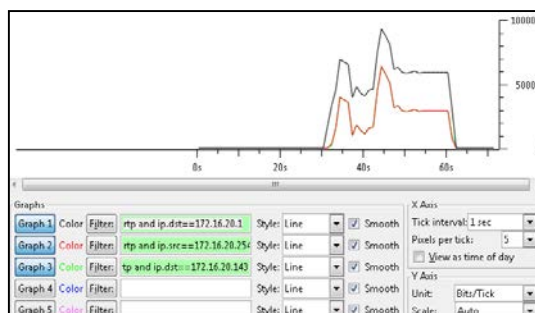


Figura 4.55b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.55c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	%?
172.16.20.1	1962	192.168.0.101	4008	64242407	g729	35	0 (0.0%)	21,25008	1,65388	1,580971	
172.16.20.1	1962	172.16.20.254	50219	64242407	g729	1461	0 (0.0%)	37,37908	2,27647	1,561327	
172.16.20.1	14072	172.16.20.143	5984	64800399	g729	1469	0 (0.0%)	618,93808	48,93881	25,402411	
172.16.20.143	5984	172.16.20.1	14072	64800399	g729	1512	0 (0.0%)	31,94008	1,618704	1,498017	
172.16.20.254	50219	172.16.20.1	1962	64398384	g729	1462	0 (0.0%)	670,93808	48,93888	25,402088	

Figura 4.55d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet #	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
326	6836	40,13	27,45	-518,82	2,48		[Ok]
332	6837	41,66	27,89	-540,47	2,96		[Ok]
372	6838	317,98	44,82	-838,45	3,44		[Ok]
373	6839	0,82	42,52	-818,47	3,92		[Ok]
374	6840	0,81	41,11	-798,47	4,40		[Ok]
375	6841	0,84	39,79	-778,52	4,88		[Ok]
376	6842	0,84	38,55	-758,55	5,36		[Ok]

Max delta = 670,90 ms at packet no. 1403
 Max jitter = 48,88 ms. Mean jitter = 15,68 ms.
 Max skew = -3760,92 ms.
 Total RTP packets = 1462 (expected 1462) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 20,14 s (1604 ms clock drift, corresponding to 8440 Hz (+5,50%))

Figura 4.55e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

f) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
630	21.3695020	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x780F91A4, Seq=46881, Time=9155280
631	21.3884890	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7F79868F, Seq=37633, Time=9155440
632	21.3890530	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x780F91A4, Seq=46882, Time=9155440
635	21.4083270	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7F79868F, Seq=37634, Time=9155600
636	21.4088920	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x780F91A4, Seq=46883, Time=9155600
637	21.4173150	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5192344C, Seq=32152, Time=160, Mark
638	21.4178130	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7C9687C6, Seq=64609, Time=160, Mark
639	21.4191680	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5192344C, Seq=32153, Time=320
640	21.4196350	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7C9687C6, Seq=64610, Time=320
641	21.4279350	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7F79868F, Seq=37635, Time=9155760
642	21.4284560	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x780F91A4, Seq=46884, Time=9155760
645	21.4368010	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5192344C, Seq=32154, Time=480
646	21.4373420	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7C9687C6, Seq=64611, Time=480
647	21.4478190	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7F79868F, Seq=37636, Time=9155920
648	21.4482970	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x780F91A4, Seq=46885, Time=9155920
649	21.4674100	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x5192344C, Seq=32155, Time=640
650	21.4679660	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7F79868F, Seq=37637, Time=9156080
651	21.4679190	172.16.20.1	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x7C9687C6, Seq=64612, Time=640

Frame 628: 134 bytes on wire (1072 bits), 134 bytes captured (1072 bits) on Interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-48:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: routerbo_9b:5c:1da (00:0c:42:9b:5c:1da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.101 (192.168.0.101)
 User Datagram Protocol, Src Port: 14796 (14796), Dst Port: 4008 (4008)
 Real-Time Transport Protocol

Figura 4.56a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.726-32 y un teléfono IP fijo canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.726-32 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (142 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (55 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (87 kbps)

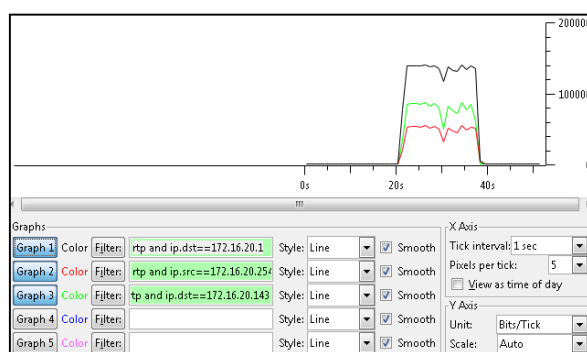


Figura 4.56b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

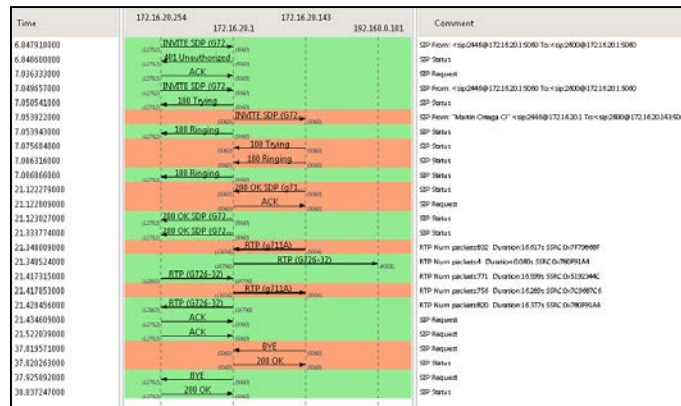


Figura 4.56c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pkt
172.16.20.1	14796	172.16.20.141	4008	0x70992A4	G726-32	4	0 (0.0%)	20,53100	0.04556	0.18598	
172.16.20.1	13636	172.16.20.141	5004	0x2C9807C6	G711A	756	0 (0.0%)	453,23300	51,05349	16,28784	
172.16.20.1	14796	172.16.20.254	12865	0x70992A4	G726-32	820	0 (0.0%)	31,31200	1.64284	0.53838	
172.16.20.141	5004	172.16.20.1	13636	0x7F9306F	G711A	632	0 (0.0%)	28,83800	1.40827	0.43756	
172.16.20.254	12865	172.16.20.1	14796	0x5192344C	G726-32	771	58 (7.5%)	451,56000	51,87215	16,94884	X

Figura 4.56d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	JP BW(kbps)	Marker	Status
649	32155	30,61	1,80	9,90	3,04		[OK]
655	32156	31,82	2,43	-1,92	4,80		[OK]
662	32157	45,08	3,84	-27,00	5,76		[OK]
664	32158	0,79	4,80	-7,80	6,72		[OK]
670	32159	35,60	5,48	-23,39	7,68		[OK]
675	32160	9,71	5,78	-13,10	8,64		[OK]
679	32161	25,09	5,73	-18,19	9,60		[OK]
681	32162	4,17	6,37	-2,36	10,56		[OK]

Max delta = 453,60 ms at packet no. 2956
 Max jitter = 51,07 ms. Mean jitter = 16,95 ms.
 Max skew = -625,00 ms.
 Total RTP packets = 820 (expected 820) Lost RTP packets = 59 (7,11%) Sequence errors = 21
 Duration 16,60 s (-612 ms clock drift, corresponding to 7705 Hz (-3,69%))

Figura 4.56e Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

g) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo

Se habilita en el softphone éste códec y se realizan las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1121	121.510109	172.16.20.1	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49786, Time=7655520
1122	121.510652	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	65	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=38994, Time=7655520
1123	121.510196	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49787, Time=7655680
1124	121.510657	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	65	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=38995, Time=7655680
1125	121.510568	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49788, Time=7655840
1126	121.511156	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	65	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=38996, Time=7655840
1127	121.509712	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49789, Time=7656000
1128	121.510197	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	65	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=38997, Time=7656000
1129	121.509551	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49790, Time=7656160
1130	121.510256	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	60	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=38998, Time=7656160
1132	121.609535	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49791, Time=7656320
1133	121.610092	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	60	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=38999, Time=7656320
1134	121.629533	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49792, Time=7656480
1135	121.629684	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	60	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=39000, Time=7656480
1136	121.647894	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=Speex, SSRC=0x0a8c6e43, Seq=19162, Time=1784995443, Mark
1137	121.648379	172.16.20.143	172.16.20.143	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xa3f2705, Seq=18538, Time=1784995440, Mark
1138	121.632773	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc98a51e, Seq=49793, Time=7656640
1139	121.633221	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	60	PT=Speex, SSRC=0x7b84d581, Seq=39001, Time=7656640

Figura 4.57a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec Speex-16 y un teléfono IP fijo canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec Speex-16 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (182 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (42 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (140 kbps)

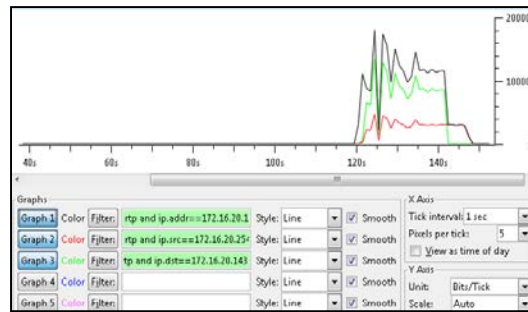


Figura 4.57b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

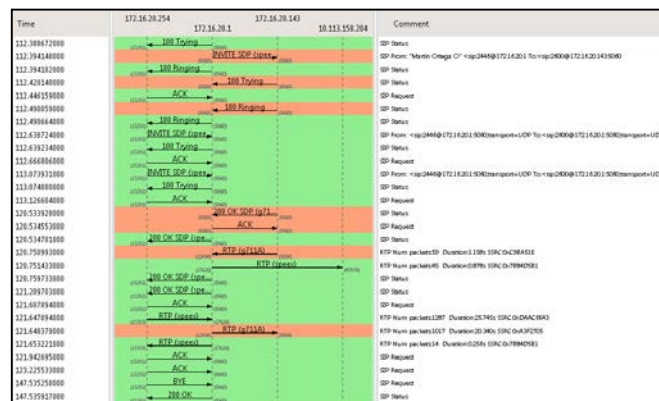


Figura 4.57c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Load	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Min Jitter (ms)	PSJ
172.16.20.1	17156	10.113.158.204	40100	0x70840501	speex	45	0.088%	23,563000	0.620113	0.454811	
172.16.20.1	12404	172.16.20.143	50104	0x61372795	g711A	1017	0.088%	1331,840000	96,233158	20,431212	
172.16.20.1	17926	172.16.20.254	22305	0x70840501	speex	14	0.088%	22,312000	0.513954	0.279271	
172.16.20.143	5004	172.16.20.1	22404	0x70840501	g711A	59	0.088%	22,242000	0.514537	0.404802	
172.16.20.254	15505	172.16.20.1	22400	0x0A0A0483	speex	1287	0.088%	1331,557000	96,178737	18,851700	

Figura 4.57d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Analyzing stream from 172.16.20.254 port 35305 to 172.16.20.1 port 17426 SSRC = 0x00000000

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1136	19162	0,00	0,00	0,00	6,49	SET	[Ok]
1167	19163	294,61	17,16	-274,61	6,98		[Ok]
1170	19164	41,88	17,46	-296,48	1,46		[Ok]
1173	19165	319,54	35,89	-586,02	1,95		[Ok]
1174	19166	0,00	34,14	-576,10	2,44		[Ok]
1175	19167	0,03	33,25	-556,12	2,93		[Ok]
1176	19168	0,00	32,43	-536,13	3,42		[Ok]
1177	19169	0,06	31,65	-516,19	3,90		[Ok]

Max delta = 2210,56 ms at packet no. 1531
 Max jitter = 96,17 ms. Mean jitter = 16,89 ms.
 Max skew = -1479,87 ms.
 Total RTP packets = 1287 (expected 1287) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 25,75 s (-4378 ms clock drift, corresponding to 6640 Hz (-27,92%))

Figura 4.57e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

h) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo

Se habilita en el softphone éste códec y se realizan las siguientes capturas:

Filter: rtp

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
211	17.6689830	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42481, Time=6833600
213	17.6985630	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41223, Time=6833840
214	17.6989750	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42482, Time=6833840
215	17.7284930	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41224, Time=6834080
216	17.7288780	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42483, Time=6834080
218	17.7371990	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=1LBC, SSRC=0x4470a25, Seq=17603, Time=69321700
219	17.7595420	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41225, Time=6834320
220	17.7599790	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42484, Time=6834320
223	17.7885370	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41226, Time=6834560
224	17.7889140	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42485, Time=6834560
226	17.8185830	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41227, Time=6834800
227	17.8190250	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42486, Time=6834800
229	17.8485650	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41228, Time=6835040
230	17.8489730	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42487, Time=6835040
231	17.8564210	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=1LBC, SSRC=0x4470a25, Seq=17604, Time=69321700
234	17.8784980	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41229, Time=6835280
235	17.8788770	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42488, Time=6835280
241	17.9088200	172.16.20.143	172.16.20.1	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x49e0565a, Seq=41230, Time=6835520
242	17.9092940	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=1LBC, SSRC=0x6f78c874, Seq=42489, Time=6835520

Frame 209: 104 bytes on wire (832 bits), 104 bytes captured (832 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett_A8138176 (00:19:c0:2a:81:38:76), Dst: Routerbo_0b1582da (00:10:c2:42:9b:15:c2da)
 Internet Protocol version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 User Datagram Protocol, Src Port: 13468 (13468), Dst Port: 4000 (4000)
 Real-Time Transport Protocol

0000 00 0c 42 9b 15 c2 da 00 0c 02 a8 38 76 09 00 45 b8 --B... ..Bv...E.
 0010 00 5a 00 00 40 00 40 11 d0 8c ac 10 14 01 0a 71 .Z..0..F...F...
 0020 9e cc 34 9c 0f 30 00 46 f8 80 88 33 f0 00 68 --4...F...F...H

Figura 4.58a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \approx 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.4 y 4.5a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (70 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (35 kbps) respectivamente

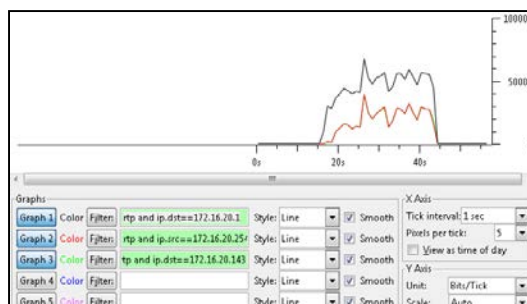


Figura 4.58b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.58c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pst
172.16.20.1	5080	172.16.20.254	8080	0x4F78C014	iLBC	35	0 (0,0%)	23,742000	0,000000	0,576300	
172.16.20.1	5080	172.16.20.254	8080	0x4F78C014	iLBC	65	0 (0,0%)	43,325000	1,522405	0,748204	
172.16.20.143	5084	172.16.20.143	5084	0x42F71566	RTPType=97	654	0 (0,0%)	8,000000	0,000000	0,000000	
172.16.20.143	5084	172.16.20.1	17544	0x4060165A	iLBC	909	0 (0,0%)	38,489000	1,740385	0,603610	
172.16.20.224	50268	172.16.20.1	13468	0x4478A215	iLBC	656	0 (0,0%)	760,894000	170,278973	28,732007	

Figura 4.58d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
359	17607	160,30	87,18	-1405,34	1,44		[OK]
364	17608	39,27	82,87	-1478,81	2,16		[OK]
376	17609	80,83	80,82	-1528,04	2,88		[OK]
380	17610	40,76	76,44	-1539,60	3,60		[OK]
388	17611	81,06	74,86	-1598,67	3,60		[OK]
393	17612	38,85	70,73	-1598,51	4,32		[OK]
402	17613	45,61	67,29	-1615,12	5,04		[OK]
410	17614	88,07	66,71	-1673,19	5,76		[OK]

Max delta = 760,00 ms at packet no. 359
 Max jitter = 170,28 ms. Mean jitter = 20,75 ms.
 Max skew = -2178,99 ms.
 Total RTP packets = 656 (expected 656) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 25,82 s (671 ms clock drift, corresponding to 9280 Hz (+2,68%))

Figura 4.58e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono IP fijo. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.6.4. Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo

Obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.12.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP.

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo									
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	105	105	210	461,86	322,46	0,05	1926	1.5	Se corta la voz
G.711a	214	115	115	230	760,16	219,82	0	1858	1.5	Se degrada la voz (robotiza) y retardada
GSM	87	36	87	123	479,62	115,32	0	1078	3	Un poco de retardo en la voz
G.722	214	120	120	240	693,11	102,86	0	1732	2	Se corta la voz y se retarda demasiado
G.729	74	47	47	94	670,9	49,88	0	1462	3.5	Se atenúa la voz
G.726-32	134	55	87	142	453,6	51,07	7,11	830	2	Se corta la voz y se degrada (robotiza)
Speex-16	75	42	140	182	1310,56	96,17	0	1287	3	Se corta la voz un poco
iLBC-13.33	104	35	35	70	760,8	170,28	0	656	4	Se atenúa la voz un poco

Tabla 4.12. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada de VoIP en éste caso con el protocolo SIP tiene una variación un poco elevada con relación a los valores obtenidos en el escenario de prueba 1 (véase la tabla 4.5b).

Se puede apreciar que con los códecs: G.722, G.711a y G.711u, se tiene un mayor ancho de banda (en un canal de la llamada de VoIP con protocolo SIP) y un menor ancho de banda con los códecs: G.729, Speex-16, GSM e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio. Esto se observa en la tabla 4.13a.

valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.722	120	Mayor
G.711a	115	Mayor
G.711u	105	Mayor
G.726-32	55	Intermedio
G.729	47	Menor
Speex-16	42	Menor
GSM	36	Menor
iLBC-13.33	35	Menor

Tabla 4.13a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

Al comparar las latencias en las tramas RTP, con ninguno de los códecs se está cumpliendo con este parámetro teórico. Como se indica en la tabla 4.13b.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
G.726-32	453,6	NO
G.711u	461,86	NO
GSM	479,62	NO
G.729	670,9	NO
G.722	693,11	NO
iLBC-13.33	760,8	NO
G.711a	760,16	NO
Speex-16	1310,56	NO

Tabla 4.13b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con el códec G.729 seguido del G.726-32 se obtienen valores bajos, con el G.722, GSM e inclusive con el iLBC-13.33 se supera un poco el valor teórico, mientras que con el G.711a y G.711u en cambio se adquieren valores elevados. Indicado en la tabla 4.13c.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
G.729	49,88	SI
G.726-32	51,07	SI
Speex-16	96,17	SI
G.722	102,86	NO
GSM	115,32	NO
iLBC-13.33	170,28	NO
G.711a	219,82	NO
G.711u	322,46	NO

Tabla 4.13c. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

La pérdida de paquetes en las tramas RTP con el códec G.726-32 es elevada comparada con los demás códecs que se encuentran dentro de lo requerido, como se observa en la tabla 4.13d.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
G.726-32	7,11	NO
G.711u	0,05	SI
G.711a	0	SI
GSM	0	SI
G.722	0	SI
G.729	0	SI
Speex-16	0	SI
iLBC-13.33	0	SI

Tabla 4.13d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales

han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. Se identifica que los mejores resultados son con los códecs: iLBC-13.33 y G.729, teniendo el rendimiento más bajo con el G.711u y G.711a como se indica en la tabla 4.13e.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
iLBC-13.33	4	Se atenúa la voz un poco
G.729	3.5	Se atenúa la voz
GSM	3	Un poco de retardo en la voz
Speex-16	3	Se corta la voz un poco
G.722	2	Se corta la voz y se retarda demasiado
G.726-32	2	Se corta la voz y se degrada (robotiza)
G.711u	1.5	Se corta la voz
G.711a	1.5	Se degrada la voz (robotiza) y retardada

Tabla 4.13e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo.

Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.13b, 4.13c, 4.13d y 4.13e se verifica que con ninguno de los códecs se cumple el parámetro teórico de latencia. En general en las llamadas de VoIP con su respectivo códec, se obtuvieron mejores resultados con el GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) a pesar de que no cumplen en su totalidad con los parámetros teóricos necesarios debido a las pérdidas ocasionadas por los factores indicados anteriormente en la transmisión de las tramas RTP. Considerándose a éstos códecs como los más aceptables en éste subescenario de prueba. Comparando con el escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo (cercano al ideal) se mantienen estos mismos códecs como los más apropiados.

4.6.5. Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN

Se realizan llamadas reales de prueba (véase figura 4.26a) con un total de 8 códecs mencionados anteriormente, habilitando cada uno de ellos en el softphone. Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con la IP pública (redireccionada, como se comentó anteriormente) y de extensión 2446, a un teléfono de la PSTN, teniendo en cuenta que la llamada sale a través del Gateway PSTN GrandStream GXW4104 de IP: 172.16.20.2 y éste se conecta a la PSTN al número 2240-XXX (véase figura 4.42).

Se habilita en el softphone el códec determinado, considerando que el códec que utilice el Gateway PSTN es de acuerdo a la configuración indicada en figura 4.3c. Además dependerá si el códec es soportado por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). El códec del softphone puede ser heredado por el Gateway PSTN siempre que éste esté también disponible en el mismo, caso contrario será recodificado por el servidor de VoIP.

a) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
75	9.48200000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27263, Time=1260743056
76	9.48237700	172.16.20.1	10.112.109.220	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51747, Time=1260743056
77	9.50210000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27264, Time=1260743216
78	9.50232100	172.16.20.1	10.112.109.220	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51748, Time=1260743216
79	9.52204200	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27265, Time=1260743376
80	9.52242100	172.16.20.1	10.112.109.220	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51749, Time=1260743376
81	9.53339000	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x1F77F480, Seq=22663, Time=1260196653
83	9.54233800	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27266, Time=1260743336
84	9.54275300	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51750, Time=1260743336
87	9.56198000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27267, Time=1260743696
88	9.56239200	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51751, Time=1260743696
89	9.57334100	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x1F77F480, Seq=22668, Time=1260196653
91	9.58204800	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27268, Time=1260743856
92	9.58246800	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51752, Time=1260743856
94	9.59384600	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x1F77F480, Seq=22667, Time=1260196673, Mark
95	9.60236800	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27269, Time=1260744016
96	9.60279800	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51753, Time=1260744016
97	9.62200300	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x28AC4132, Seq=27270, Time=1260744176
99	9.63340000	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x41C999F5, Seq=51754, Time=1260744176

Frame 72: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-Packard (00:0c:29:14:81:38:76), Dst: RouterBo_0b15c:da (00:0c:14:21:9b:5c:da)
 # Internet Protocol version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.112.109.220 (10.112.109.220)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 12976 (12976), Dst Port: 4000 (4000)
 # Real-time Transport Protocol

Figura 4.59a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.6 y 4.7a). Se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (240 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (120 kbps) respectivamente

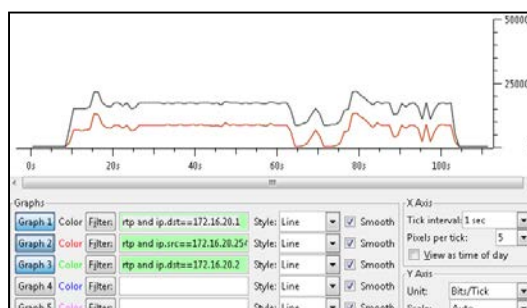


Figura 4.59b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.59c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.6 y 4.7a). Se comprueba el ancho de banda de la llamada. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (220 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (110 kbps) respectivamente

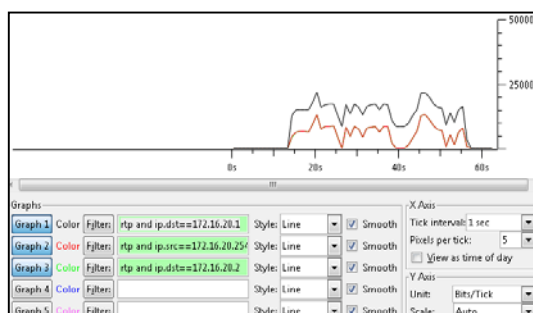


Figura 4.60b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

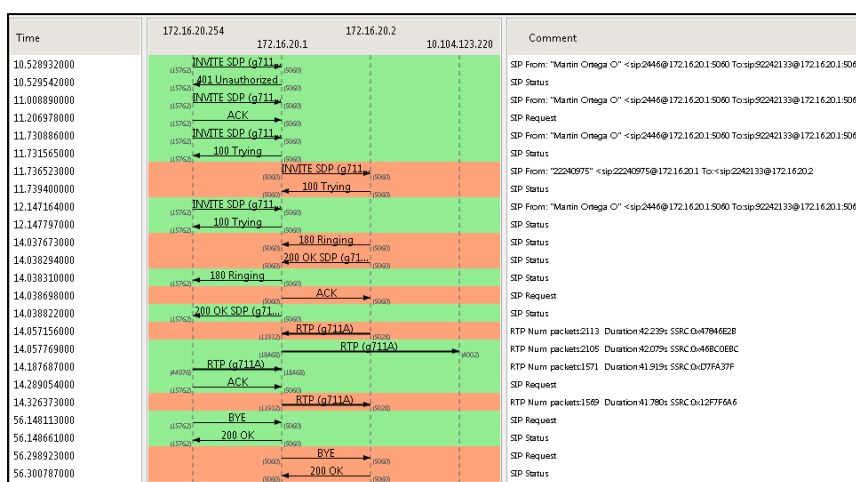


Figura 4.60c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	%
172.16.20.1	18408	10.104.123.220	4008	0x408C8BC	g711a	7	0 (0.0%)	26,350000	0,770427	1,403857	
172.16.20.1	18408	172.16.20.254	44976	0x408C8BC	g711a	2088	0 (0.0%)	35,302000	2,173174	5,527847	
172.16.20.1	18408	172.16.20.2	5020	0x377F4A6	g711a	1549	0 (0.0%)	39,610000	4,138430	10,340771	
172.16.20.2	5408	172.16.20.1	12102	0x194E120	g711a	2113	0 (0.0%)	33,990000	1,90710	4,803367	
172.16.20.254	44976	172.16.20.1	18408	0x07FA37F	g711a	1571	0 (0.0%)	37,131000	4,044471	9,453776	

Figura 4.60d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
157	1808	16,32	7,86	-149,56	5,44		[Ok]
161	1809	19,08	7,42	-138,64	7,04		[Ok]
167	1810	44,22	8,47	-162,87	8,64		[Ok]
171	1811	16,32	8,17	-159,19	10,24		[Ok]
175	1812	20,81	7,71	-160,00	11,84		[Ok]
181	1813	40,47	8,51	-180,46	13,44		[Ok]
185	1814	19,24	8,83	-179,70	15,04		[Ok]
189	1815	19,76	7,54	-179,46	16,64		[Ok]

Max delta = 172.81 ms at packet no. 5235
 Max jitter = 60.05 ms. Mean jitter = 9.65 ms.
 Max skew = -1749.68 ms.
 Total RTP packets = 1571 (expected 1571) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 41.92 s (51 ms clock drift, corresponding to 8010 Hz (+0.12%))

Figura 4.60e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

c) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
162	20.9095230	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x722C4A96, Seq=2632, Time=684939054
163	20.9099230	172.16.20.1	10.104.123.220	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x6F708B05, Seq=29441, Time=684939048
167	21.0184070	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=GSM 06.10, SSRC=0x1D084FA4, Seq=32549, Time=1493041889
168	21.0294540	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x722C4A96, Seq=2633, Time=684939214
169	21.0299000	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x6F708B05, Seq=29442, Time=684939208
172	21.0494560	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x722C4A96, Seq=2634, Time=684939374
173	21.0498390	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x6F708B05, Seq=29443, Time=684939368
175	21.0567000	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=GSM 06.10, SSRC=0x1D084FA4, Seq=32550, Time=1493041889
176	21.0697790	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x722C4A96, Seq=2635, Time=684939334
177	21.0701660	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x6F708B05, Seq=29444, Time=684939528
178	21.0783770	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x1D084FA4, Seq=32551, Time=1493042049, Mark
179	21.0784180	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x1D084FA4, Seq=32552, Time=1493042209
180	21.0787790	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x52491984, Seq=50799, Time=1493042048, Mark
181	21.0787880	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x52491984, Seq=50800, Time=1493042208
182	21.0896380	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x722C4A96, Seq=2636, Time=684939694
183	21.0900250	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x6F708B05, Seq=29445, Time=684939688
184	21.1095460	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x722C4A96, Seq=2637, Time=684939854
185	21.1099560	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x6F708B05, Seq=29446, Time=684939848

Ethernet II, Src: Hewlett-Packard (00:0c:29:19:38:76), Dst: Router (00:0c:29:19:38:76)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.104.123.220 (10.104.123.220)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 12214 (12214), Dst Port: 4008 (4008)
 # Real-Time Transport Protocol

```

0000  00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..8. ....80...E.
0010  00 49 00 00 40 00 40 11 f2 96 ac 10 14 08 0a 68  .1.4.8. ....8.
0020  7b dc 2f b5 0f a8 00 35 cc 3b 80 03 72 ff 28 d3  ./. ...5 .:..f.c.
0030  85 e8 6f 7d 8b 05 08 5c 89 19 18 e6 00 49 24 60  u.0j... ..1:fm
0040  87 04 82 06 38 62 82 49 24 60 88 0b 72 38 1c
    
```

Figura 4.61a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.6 y 4.7a). Se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (68 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (34 kbps) respectivamente

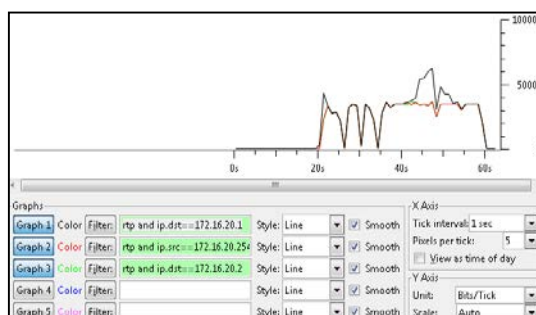


Figura 4.61b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

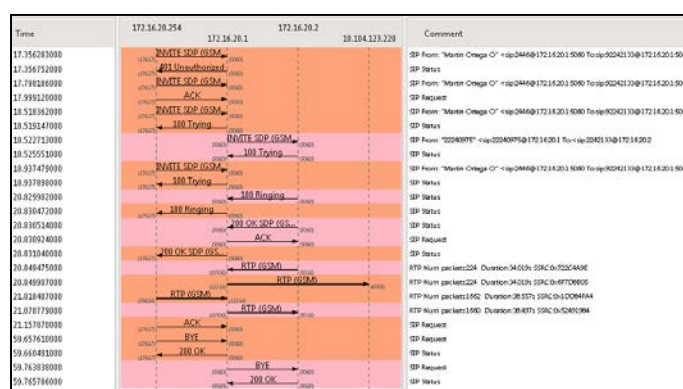


Figura 4.61c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max jitter (ms)	Mean jitter (ms)	Seq
172.16.20.1	12214	10.105.32.9	4008	0x6f701805	GSM	4	0 (0.0%)	20.140000	0.040644	0.170000	
172.16.20.1	12214	172.16.20.254	59824	0x6f701805	GSM	220	0 (0.0%)	21355.026000	1334.134769	134.374864	
172.16.20.1	18986	172.16.20.2	5906	0x52812084	GSM	1669	0 (0.0%)	2250.753000	16.480239	10.711849	
172.16.20.1	9064	172.16.20.1	18986	0x22203008	GSM	214	0 (0.0%)	21355.040000	1334.94712	132.201020	
172.16.20.254	59824	172.16.20.1	12214	0x20204644	GSM	1662	0 (0.0%)	21355.040000	16.384247	11.052009	

Figura 4.61d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
195	32555	0,04	9,55	-50,33	3,56		[Ok]
203	32556	19,46	8,98	-57,79	4,14		[Ok]
204	32557	0,05	9,67	-37,04	4,73		[Ok]
209	32558	19,09	9,07	-37,73	5,31		[Ok]
210	32559	0,21	9,74	-17,94	5,90		[Ok]
216	32560	20,73	9,18	-18,67	6,48		[Ok]
217	32561	0,02	9,85	1,31	7,06		[Ok]
223	32562	18,53	9,27	1,78	7,65		[Ok]

Max delta = 182,50 ms at packet no. 1879
 Max jitter = 16,26 ms. Mean jitter = 10,85 ms.
 Max skew = -90,16 ms.
 Total RTP packets = 1662 (expected 1662) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 28,56 s (-166 ms clock drift, corresponding to 7986 Hz (-0,42%))

Figura 4.61e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
59	12.8535950	172.16.20.1	10.105.32.9	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x6fE51FE4, Seq=46505, TTime=312674240
61	12.8731340	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x500E42E2, Seq=3374, TTime=312674403
62	12.8736140	172.16.20.1	10.105.32.9	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x6fE51FE4, Seq=46506, TTime=312674400
64	12.8914370	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x3AEF107E, Seq=21591, TTime=303151201
65	12.8935020	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x500E42E2, Seq=3375, TTime=312674563
66	12.8939290	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x6fE51FE4, Seq=46507, TTime=312674560
67	12.9092560	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x3AEF107E, Seq=21592, TTime=303151201
69	12.9131650	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x500E42E2, Seq=3376, TTime=312674723
70	12.9136340	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x6fE51FE4, Seq=46508, TTime=312674720
72	12.9332180	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x500E42E2, Seq=3377, TTime=312674883
73	12.9336880	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x6fE51FE4, Seq=46509, TTime=312674880
74	12.9499030	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x3AEF107E, Seq=21593, TTime=303151261, Mark
75	12.9503340	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x70E1C056, Seq=11309, TTime=303151360, Mark
76	12.9515620	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x500E42E2, Seq=3378, TTime=312675043
77	12.9539480	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x6fE51FE4, Seq=46510, TTime=312675040
78	12.9690920	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x3AEF107E, Seq=21594, TTime=303151521
79	12.9699170	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x70E1C056, Seq=11310, TTime=303151520
80	12.9723000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x500E42E2, Seq=3379, TTime=312675203
81	12.9736490	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x6fE51FE4, Seq=46511, TTime=312675200

Frame 57: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on Interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-...a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo...9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.105.32.9 (10.105.32.9)
 User Datagram Protocol, Src Port: 18006 (18006), Dst Port: 4004 (4004)
 Real-time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B.\... ..8V..E.
0010 00 c8 00 00 40 00 40 11 4e ea ac 10 34 01 0a 69 ...0.0. N.....1
0020 20 09 46 0f 44 00 b4 08 0c 90 09 65 a8 12 a3 .FW....
0030 07 20 ef 63 1f 64 f1 f7 f8 08 fe fe fe f1 fe db .0.....

```

Figura 4.62a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.722 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.722 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.6 y 4.7a). Se mide el ancho de banda de la llamada (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (180 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (90 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (90 kbps)

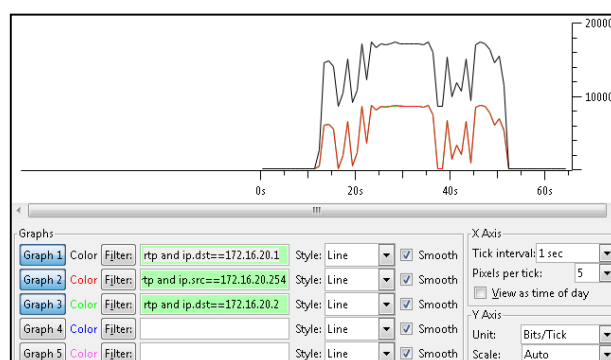


Figura 4.62b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

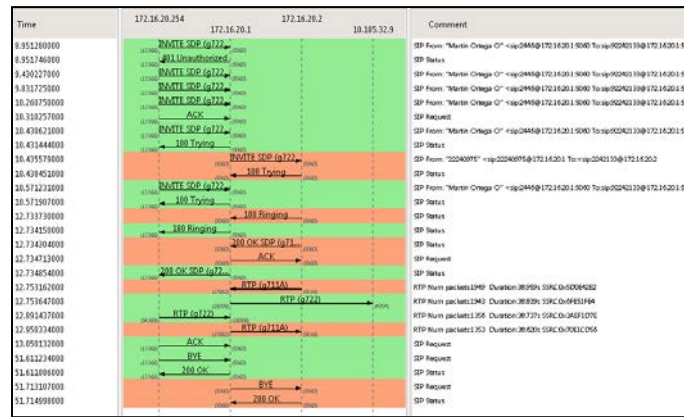


Figura 4.62c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP.

Src. addr	Src. port	Dst. addr	Dst. port	SSRC	Payload	Packets	Loss	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	PSJ
172.16.20.1	18006	172.16.20.254	54369	0x3AEF1D7E	G722	7	0 (0.00%)	23,003000	0,003466	0,003000	
172.16.20.1	18006	172.16.20.254	54369	0x3AEF1D7E	G722	1036	0 (0.00%)	35,453000	2,630284	0,540110	
172.16.20.1	18006	172.16.20.1	18006	0x00000000	G711A	1033	0 (0.00%)	2342,287000	127,478117	11,540104	
172.16.20.254	54369	172.16.20.1	18006	0x00000000	G711A	1049	0 (0.00%)	34,405000	1,935586	0,302026	
172.16.20.254	54369	172.16.20.1	18006	0x3AEF1D7E	G722	1356	0 (0.00%)	300,640000	110,185421	9,495476	

Figura 4.62d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta (ms)	Filtered Jitter (ms)	Skew (ms)	IP BW (kbps)	Marker	Status
101	21597	19,18	7,49	-138,35	8,64	[Ok]	
105	21598	19,77	7,83	-138,12	10,24	[Ok]	
115	21599	69,33	9,68	-107,45	11,84	[Ok]	
117	21600	3,59	10,10	-171,04	13,44	[Ok]	
119	21601	8,38	10,19	-159,41	15,04	[Ok]	
123	21602	21,08	9,62	-160,41	16,64	[Ok]	
129	21603	39,94	10,20	-179,35	18,24	[Ok]	
133	21604	18,78	9,64	-170,85	19,84	[Ok]	

Max delta = 300,64 ms at packet no. 6919
 Max jitter = 119,18 ms, Mean jitter = 9,59 ms,
 Max skew = -1677,15 ms,
 Total RTP packets = 1356 (expected 1356) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 20,74 s (-52 ms clock drift, corresponding to 7989 Hz (-0,135%))

Figura 4.62e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

e) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
90	6.98592500	172.16.20.1	10.105.32.9	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x544A8135, Seq=45641, Time=1140591320
91	7.00587400	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x77300E06, Seq=23710, Time=1140591486
92	7.00612300	172.16.20.1	10.105.32.9	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x544A8135, Seq=45642, Time=1140591480
93	7.02567100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x77300E06, Seq=23711, Time=1140591646
94	7.02602200	172.16.20.1	10.105.32.9	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x544A8135, Seq=45643, Time=1140591640
96	7.04322400	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x744AF067, Seq=24067, Time=157787518
97	7.04563400	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x77300E06, Seq=23712, Time=1140591806
98	7.04602000	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x544A8135, Seq=45644, Time=1140591800
99	7.06731700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x77300E06, Seq=23713, Time=1140591966
100	7.06786100	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x544A8135, Seq=45645, Time=1140591960
103	7.08184600	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x744AF067, Seq=24068, Time=157787518
104	7.08626600	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x77300E06, Seq=23714, Time=1140592126
105	7.08681200	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x544A8135, Seq=45646, Time=1140592120
106	7.09186300	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	64	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x744AF067, Seq=24069, Time=1577167678, Mark
107	7.09189500	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	64	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x744AF067, Seq=24070, Time=1577167838
108	7.09238900	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x48CF701E, Seq=7017, Time=26, Mark
110	7.10572700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x77300E06, Seq=23715, Time=1140592286
111	7.10612600	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x544A8135, Seq=45647, Time=1140592280
112	7.12570100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x77300E06, Seq=23716, Time=1140592446

Figura 4.63a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.6 y 4.7a). Se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (68 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (34 kbps) respectivamente

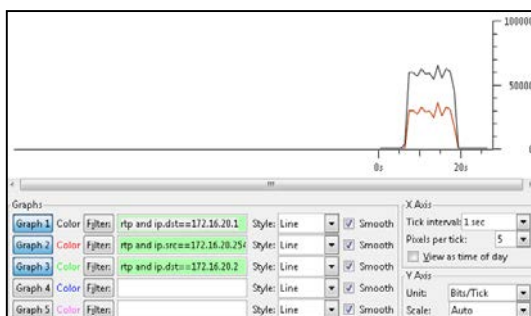


Figura 4.63b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

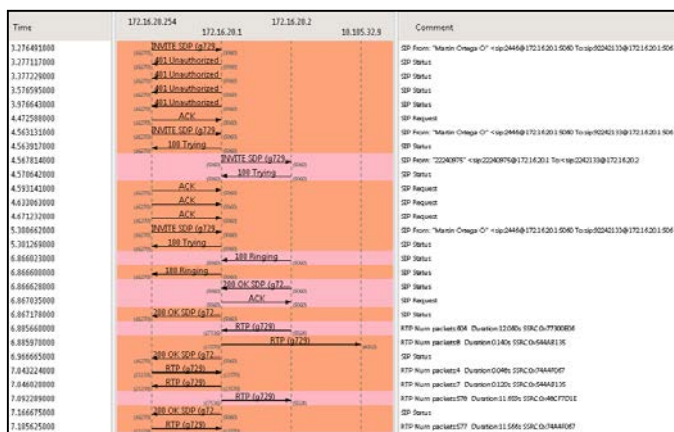


Figura 4.63c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams: Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Seq. num.	Seq. port.	Dir. addr.	Dir. port.	SSRC	Payload	Packets	Lost	Bit. Delta (mB)	Max. Jitter (mS)	Mean Sizer (mB)
172.16.20.1	1570	172.16.20.254	6002	054448129	g729	8	0 (0.0%)	22,200000	0.842926	0.202595
172.16.20.1	1570	172.16.20.254	23239	054448135	g729	598	0 (0.0%)	32,699000	3,254537	0,666407
172.16.20.1	17536	172.16.20.2	5104	044057218	g729	578	0 (0.0%)	384,691000	12321881,969500	348194,743382
172.16.20.2	5024	172.16.20.1	17536	047798086	g729	604	0 (0.0%)	20,344000	2,474710	0,439396
172.16.20.254	23239	172.16.20.1	6002	054448135	g729	365	0 (0.0%)	394,570000	28,556626	12,000000

Figura 4.63d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet #	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
120	24073	26,30	0,00	-68,73	2,00		[Ok]
129	24074	0,27	9,56	-49,00	3,36		[Ok]
133	24075	8,74	9,67	-37,74	3,84		[Ok]
134	24076	0,25	10,30	-17,89	4,32		[Ok]
139	24077	14,71	9,99	-12,61	4,80		[Ok]
140	24078	0,89	10,61	7,31	5,28		[Ok]
145	24079	5,22	10,87	22,09	5,76		[Ok]
146	24080	0,82	11,44	42,07	6,24		[Ok]

Max delta = 384,57 ms at packet no. 1570
 Max jitter = 29,56 ms. Mean jitter = 12,61 ms.
 Max skew = -333,01 ms.
 Total RTP packets = 581 (expected 581) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 11,71 s (-184 ms clock drift, corresponding to 7074 Hz (-157%)

Figura 4.63e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-
Fuente el autor

f) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
75	9.73498400	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x6063076, Seq=32099, Time=790836681
76	9.73544000	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x30013451, Seq=6814, Time=790836680
79	9.73197700	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	94	PT=G726-32, SSRC=0x2C2380FC, Seq=23084, Time=160, Mark
80	9.73458200	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x6063076, Seq=32100, Time=790836841
81	9.73505800	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x30013451, Seq=6815, Time=790836840
82	9.77498100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x6063076, Seq=32101, Time=790837001
83	9.77516900	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x30013451, Seq=6816, Time=790837000
84	9.77517600	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x2C2380FC, Seq=23085, Time=320
85	9.77563200	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x410CDE04, Seq=61686, Time=0, Mark
86	9.77842100	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x2C2380FC, Seq=23086, Time=480
87	9.77824500	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x410CDE04, Seq=61687, Time=160
88	9.79505700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x6063076, Seq=32102, Time=790837161
89	9.79558400	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x30013451, Seq=6817, Time=790837160
90	9.79923800	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x2C2380FC, Seq=23087, Time=640
91	9.79989600	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x410CDE04, Seq=61688, Time=320
92	9.81470400	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x6063076, Seq=32103, Time=790837321
93	9.81316800	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x30013451, Seq=6818, Time=790837320
95	9.83493100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x6063076, Seq=32104, Time=790837481
96	9.83434800	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=G726-32, SSRC=0x30013451, Seq=6819, Time=790837480

Frame 69: 134 bytes on wire (1072 bits), 134 bytes captured (1072 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-...a8:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo...9b:5c:da (00:10:c:42:9b:5c:da)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.101 (192.168.0.101)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 12780 (12780), Dst Port: 4004 (4004)
 # Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..B....8v..E.
0010 00 f8 00 00 40 00 40 11 b8 0e ac 10 14 02 c0 a8  ..x..0..0.....
0020 00 65 31 ec 0f a4 00 64 10 53 80 73 1a 9b 2f 23  ed...d 15.5...#
0030 33 e8 3d 01 34 51 f1 f1 31 f1 f1 31 f1 f1 31 f1  3..4Q.....
    
```

Figura 4.64a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.726-32 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.726-32 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños

(véase tabla 4.6 y 4.7a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (152 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (60 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (92 kbps)



Figura 4.64b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.64c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	PSF
172.16.20.1	12780	192.168.0.101	4004	0x0013451	G726-32	8	0 (0.0%)	20.61100	0.12858	0.111258	
172.16.20.1	12780	172.16.20.254	17235	0x0013451	G726-32	1207	0 (0.0%)	31.21000	2.84706	0.195503	
172.16.20.1	12806	172.16.20.2	5000	0x0022804	G726-32	1107	0 (0.0%)	45.04200	40.20992	12.302029	
172.16.20.2	5000	172.16.20.1	13806	0x0013076	G726-32	1121	0 (0.0%)	30.61000	1.521400	0.109142	
172.16.20.254	17235	172.16.20.1	12780	0x02280FC	G726-32	1196	18 (1.5%)	45.012000	47.667802	12.553847	X

Figura 4.64d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	JP BW(kbps)	Marker	Status
90	23087	20.82	1.21	12.74	3.52		[OK]
97	23088	47.98	2.88	-15.25	4.48		[OK]
99	23089	4.58	3.67	0.17	5.44		[OK]
103	23090	4.05	4.43	16.33	6.40		[OK]
110	23091	50.71	6.08	-14.50	7.36		[OK]
112	23092	2.27	6.89	3.14	8.32		[OK]
116	23093	21.56	6.48	3.58	9.28		[OK]
123	23094	26.74	6.49	-5.16	10.24		[OK]

Max delta = 654.01 ms at packet no. 4143
 Max jitter = 47.67 ms. Mean jitter = 12.55 ms.
 Max skew = -632.88 ms.
 Total RTP packets = 1215 (expected 1215) Lost RTP packets = 18 (1.50%) Sequence errors = 4
 Duration 24.28 s (-112 ms clock drift, corresponding to 7863 Hz (-0.465%))

Figura 4.64e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

g) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
292	37.9477350	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	83	PT=spheex, SSRC=0x59220378, Seq=15180, Time=744109000
293	37.9589200	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x914E99, Seq=12007, Time=744109160
294	37.9672310	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	83	PT=spheex, SSRC=0x59220378, Seq=15181, Time=744109160
295	37.9869080	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x914E99, Seq=12008, Time=744109320
296	37.9873750	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	83	PT=spheex, SSRC=0x59220378, Seq=15182, Time=744109320
297	37.9880680	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=spheex, SSRC=0x8C865402, Seq=27814, Time=3766665966, Mark
298	37.9884830	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0FD9864, Seq=60686, Time=3766665960, Mark
299	38.0072650	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x914E99, Seq=12009, Time=744109480
300	38.0077930	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	83	PT=spheex, SSRC=0x59220378, Seq=15183, Time=744109480
301	38.0268650	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x914E99, Seq=12010, Time=744109640
302	38.0273220	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	75	PT=spheex, SSRC=0x59220378, Seq=15184, Time=744109640
303	38.0370870	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=spheex, SSRC=0x8C865402, Seq=27815, Time=3766666126
304	38.0375060	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0FD9864, Seq=60687, Time=3766666120
305	38.0461720	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=spheex, SSRC=0x8C865402, Seq=27816, Time=3766666286
306	38.0465650	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0FD9864, Seq=60688, Time=3766666280
307	38.0469630	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x914E99, Seq=12011, Time=744109800
308	38.0473680	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	65	PT=spheex, SSRC=0x59220378, Seq=15185, Time=744109800
309	38.0644750	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=spheex, SSRC=0x8C865402, Seq=27817, Time=3766666446
310	38.0648930	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x0FD9864, Seq=60689, Time=3766666440

Frame 290: 75 bytes on wire (600 bits), 75 bytes captured (600 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-Packard 38:76:00:9c:02:a8, Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.101 (192.168.0.101)
 User Datagram Protocol, Src Port: 18482 (18482), Dst Port: 37698 (37698)
 Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B. \... ..8v..E.
0010 00 3d 00 00 00 00 00 11 b8 09 ac 10 14 01 c0 a8 ... ..0.0. ....
0020 00 65 a8 52 93 42 00 79 e2 8c 80 6e 3b 4b 2c 5a ..m2..e.. ...k;2
0030 32 c8 39 52 03 78 18 14 89 85 dc 5c cd c9 e9 32 3(Y..x.T...;..2
    
```

Figura 4.65a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec Speex-16 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec Speex-16 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.6 y 4.7a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (128 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (33 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (95 kbps)

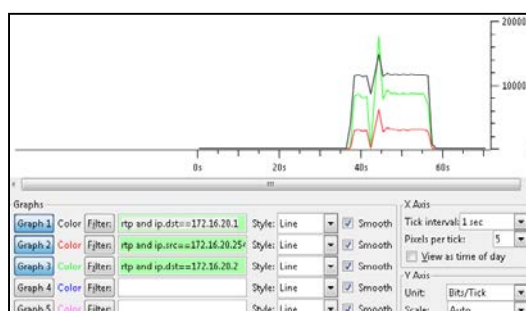


Figura 4.65b. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor



Figura 4.65c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected RTP streams. Click on one for forward and reverse direction for analysis											
pc addr	Seq port	Out addr	In port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pa?
172.16.20.1	18402	172.16.20.101	17150	0x52021028	speex	22	0 (0.0%)	20.390000	0.113546	0.113455	
172.16.20.1	17150	172.16.20.2	18402	0x52021028	g111A	938	0 (0.0%)	176.280000	1.81764258	1.81659601	
172.16.20.1	18402	172.16.20.254	24964	0x52021028	speex	214	0 (0.0%)	26.452000	1.551262	0.461429	
172.16.20.1	18402	172.16.20.254	24964	0x52021028	speex	663	0 (0.0%)	20.510000	1.371420	0.377327	
172.16.20.2	5811	172.16.20.1	17150	0x51461010	g111A	976	0 (0.0%)	20.911000	1.214834	0.216362	
172.16.20.254	24964	172.16.20.1	18402	0x51695402	speex	137	1 (0.5%)	173.200000	38.372854	17.131931	X
172.16.20.254	24964	172.16.20.1	18402	0x51695402	speex	745	0 (0.0%)	407.980000	78.377040	11.453384	

Figura 4.65d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analyzing stream from 172.16.20.254 port 24964 to 172.16.20.1 port 18402 SSRC = 0x52021028							
Packet #	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1277	20011	0,34	1,90	23,95	1,95		[Ok]
1278	20012	0,61	3,11	53,94	2,44		[Ok]
1283	20013	12,00	3,42	61,94	2,53		[Ok]
1285	20014	9,62	3,05	72,32	3,42		[Ok]
1289	20015	10,31	4,22	82,01	3,90		[Ok]
1290	20016	0,10	5,20	101,91	4,39		[Ok]
1293	20017	11,13	5,43	110,70	4,80		[Ok]
1297	20018	0,75	5,79	122,82	5,37		[Ok]

Max delta = 407,91 ms at packet no. 2197
 Max jitter = 39,27 ms, Mean jitter = 11,43 ms.
 Max skew = 1393,35 ms.
 Total RTP packets = 745 (expected 745). Lost RTP packets = 0 (0,00%). Sequence errors = 0
 Duration 13,16 s (-1250 ms clock drift, corresponding to 7216 Hz (-9,81%))

Figura 4.65e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

h) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono da la PSTN

Se habilita en el softphone éste códec y se realizan las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
99	6.94761800	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x42f1AD81, Seq=4517, Time=1856341664
100	6.96659700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25C70053, Seq=23198, Time=1856341826
101	6.96717100	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x42f1AD81, Seq=4518, Time=1856341824
102	6.98666400	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25C70053, Seq=23199, Time=1856341986
103	6.98947500	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x0D0FF14D, Seq=24027, Time=1856341179, Mark
104	6.98949800	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x148A7B4C, Seq=12425, Time=120, Mark
105	7.00694100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25C70053, Seq=23200, Time=1856342146
106	7.00750900	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x42f1AD81, Seq=4519, Time=1856342144
107	7.02662800	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25C70053, Seq=23201, Time=1856342306
108	7.02722100	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x42f1AD81, Seq=4520, Time=1856342304
109	7.02785400	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x0D0FF14D, Seq=24028, Time=3606331419
110	7.02830500	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x148A7B4C, Seq=12426, Time=280
111	7.02832400	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x148A7B4C, Seq=12427, Time=440
113	7.04666700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25C70053, Seq=23202, Time=1856342466
114	7.05162300	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x0D0FF14D, Seq=24029, Time=3606331659
115	7.05207000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x148A7B4C, Seq=12428, Time=600
116	7.06696800	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25C70053, Seq=23203, Time=1856342626
117	7.06735800	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=ILBC, SSRC=0x42f1AD81, Seq=4521, Time=1856342624
118	7.08666000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x25C70053, Seq=23204, Time=1856342786

Frame 96: 104 bytes on wire (832 bits), 104 bytes captured (832 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-Packard [08:00:0c:42:9b:5c], Dst: Routerba_9b:5c:da [00:0c:42:9b:5c:da]
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.101 (192.168.0.101)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 19742 (19742), Dst Port: 37698 (37698)
 # Real-time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 43 b8  ..B....8v..E.
0010 00 5a 00 00 40 00 40 11 b8 bc ac 10 14 01 c0 a8  ..9..B.....
  
```

Figura 4.66a. Captura del tráfico RTP—Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla—Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec iLBC-13.33 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec iLBC-13.33 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.6 y 4.7a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (120 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (30 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (90 kbps)

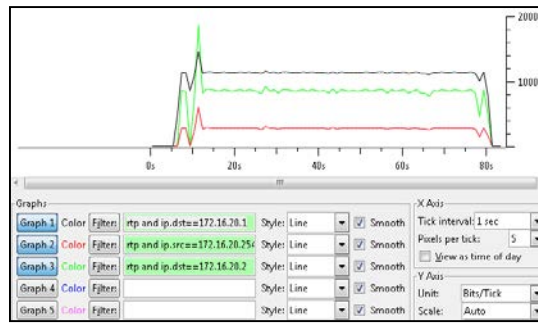


Figura 4.66b. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.66c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src. sdp	Src. port	Dst. addr	Dst. port	Codec	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Max. Jitter (ms)	PKT
172.16.20.1	19742	192.168.0.301	37000	l16	l16	0	0 (0.0%)	43,140000	0,121467	0,731444	
172.16.20.1	16492	172.16.20.2	5020	l16	l16	3640	0 (0.0%)	10,4190000	1,17,040700	17,573843	
172.16.20.1	19742	172.16.20.254	22897	l16	l16	1656	798 (48.2%)	23980,132300	1,14,40300	0,309595	X
172.16.20.1	19742	172.16.20.254	58958	l16	l16	798	0 (0.0%)	50,121000	1,14,41700	0,405583	
172.16.20.2	5020	172.16.20.1	34402	l16	l16	3714	0 (0.0%)	30,454000	1,15,26200	0,294700	
172.16.20.254	22897	172.16.20.1	19742	l16	l16	1056	884 (83.8%)	25010,200000	0,15,50120	9,314034	X
172.16.20.254	58958	172.16.20.1	28742	l16	l16	878	0 (0.0%)	211,040000	15,296665	15,430167	

Figura 4.66d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
630	24097	3,01	4,64	18,76	2,88		[Ok]
636	24098	6,33	5,83	107,43	3,60		[Ok]
639	24099	11,83	6,60	120,61	4,32		[Ok]
640	24100	0,03	0,06	150,58	5,04		[Ok]
644	24101	7,78	8,95	172,80	5,76		[Ok]
649	24102	9,72	9,66	193,08	6,48		[Ok]
654	24103	11,55	10,20	211,53	7,20		[Ok]
656	24104	11,36	10,73	230,17	7,92		[Ok]

Analyzing stream from 172.16.20.254 port 5858 to 172.16.20.1 port 19742 SSRC = b0dfff14d
 Max delta = 231,04 ms at packet no. 2773
 Max jitter = 31,60 ms. Mean jitter = 15,42 ms.
 Max skew = 1784,28 ms.
 Total RTP packets = 850 (expected 850) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 22,97 + (329 ms clock drift, corresponding to 8200 Hz (-1,32%))

Figura 4.66e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono de la PSTN. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.6.6. Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN

Obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.14.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP.

códec	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo									
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	120	120	240	150,13	101,91	0,22	4026	3	Se retarda la voz
G.711a	214	110	110	220	172,81	60,05	0	1571	2.5	Bastante retardada la voz
GSM	87	34	34	68	113,5	16,36	0	1662	3	Se corta la voz
G.722	214	90	90	180	300,64	119,18	0	1356	2.5	Se corta la voz y se retarda
G.729	74	34	34	68	384,57	29,56	0	581	4.5	Un poco atenuada la voz
G.726-32	134	60	92	152	654,01	47,67	1,56	1215	1	No se escucha la voz
Speex-16	75	33	95	128	407,91	39,27	0	745	1	Bastante atenuada la voz
iLBC-13.33	104	30	90	120	231,04	31,6	0	858	4.5	Un poco atenuada la voz

Tabla 4.14. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada de VoIP en éste caso con el protocolo SIP tiene una variación un poco elevada con relación a los valores obtenidos en el escenario de prueba 1 (véase la tabla 4.7b). Se puede apreciar que con los códecs: G.711u, G.711a y G.722, se tiene un mayor ancho de banda (en un canal de la llamada de VoIP con protocolo SIP) y un menor ancho de banda con los códecs: GSM, G.729, Speex-16 e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio. Esto se observa en la tabla 4.15a.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.711u	120	Mayor
G.711a	110	Mayor
G.722	90	Mayor
G.726-32	60	Intermedio
GSM	34	Menor
G.729	34	Menor
Speex-16	33	Menor
iLBC-13.33	30	Menor

Tabla 4.15a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.

Fuente el autor

Al comparar las latencias en las tramas RTP, se observa que únicamente con el códec GSM se cumple con el parámetro teórico, seguido del G.711u con un valor un poco mayor a lo deseado, con el resto de códecs no se está cumpliendo. Como se indica en la tabla 4.15b.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
GSM	113,5	SI
G.711u	150,13	NO
G.711a	172,81	NO
iLBC-13.33	231,04	NO
G.722	300,64	NO
G.729	384,57	NO
Speex-16	407,91	NO
G.726-32	654,01	NO

Tabla 4.15b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con el códec G.722 no se cumple con el valor teórico deseado seguido del G.711u con el cual se supera un poco éste valor y con el resto de códecs se está dentro de lo establecido (menor a 100 ms). Indicado en la tabla 4.15c.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
GSM	16,36	SI
G.729	29,56	SI
iLBC-13.33	31,6	SI
Speex-16	39,27	SI
G.726-32	47,67	SI
G.711a	60,05	SI
G.711u	101,91	NO
G.722	119,18	NO

Tabla 4.15c. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

La pérdida de paquetes en las tramas RTP con el códec G.726-32 es elevada comparada con los demás que se encuentran dentro de lo requerido, como se observa en la tabla 4.15d.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
G.726-32	1,56	NO
G.711u	0,22	SI
G.711a	0	SI
GSM	0	SI
G.722	0	SI
G.729	0	SI
Speex-16	0	SI
iLBC-13.33	0	SI

Tabla 4.15d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. Se identifica que los mejores resultados son con los códecs: G.729 e iLBC-13.33 teniendo el rendimiento más bajo con el G.726-32 y Speex-16, como se indica en la tabla 4.15e.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
G.729	4.5	Un poco atenuada la voz
iLBC-13.33	4.5	Un poco atenuada la voz
GSM	3	Se corta la voz
G.711u	3	Se retarda la voz
G.711a	2.5	Bastante retardada la voz
G.722	2.5	Se corta la voz y se retarda
G.726-32	1	No se escucha la voz
Speex-16	1	Bastante atenuada la voz

Tabla 4.15e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN. Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.15b, 4.15c, 4.15d y 4.15e se verifica que solo con el códec GSM se cumple el parámetro teórico de latencia seguido del G.711u (valor cercano). En general en

las llamadas de VoIP con su respectivo códec, se obtuvieron mejores resultados con el GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) a pesar de que no cumplen en su totalidad con los parámetros teóricos necesarios debido a las pérdidas ocasionadas por los factores indicados anteriormente en la transmisión de las tramas RTP. Considerándose a éstos códecs como los más aceptables en éste subescenario de prueba. Comparando con el escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN (cercano al ideal) se establecen como los más apropiados estos mismos códecs de banda angosta.

4.6.7. Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular

Se realizan llamadas reales de prueba (véase figura 4.34a) con un total de 8 códecs señalados anteriormente, habilitando cada uno de éstos en el softphone. Las llamadas se lo realizan desde el teléfono móvil 1 con IP pública (redireccionada, indicado anteriormente) y de extensión 2446, a un teléfono móvil celular al número 099XXXXXX, teniendo en cuenta que la llamada sale a través del Gateway PSTN GrandStream GXW4104 de IP: 172.16.20.2 que a su vez se conecta a la PSTN y luego redirigida a la red de telefonía móvil celular (refiérase a la figura 4.42).

Se habilita en el softphone el códec determinado, pero teniendo en cuenta que el códec que utilice el Gateway PSTN es de acuerdo a la configuración indicada en figura 4.3c. Además dependerá si el códec es soportado por el servidor de VoIP (véase las figuras 4.6 y 4.7). El códec del softphone puede ser heredado por el Gateway PSTN siempre que éste esté también disponible en el mismo, caso contrario será recodificado por el servidor de VoIP.

a) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
522	12.5053426	172.16.20.1	10.104.18.51	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10990, Time=1528588944
525	12.5216190	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x3A9975AE, Seq=31950, Time=1528589111
526	12.5249150	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x69147233, Seq=27716, Time=1528589111
527	12.5253220	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10993, Time=1528589104
529	12.5449040	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x69147233, Seq=27717, Time=1528589271
530	12.5452910	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10994, Time=1528589264
532	12.5385450	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x3A9975AE, Seq=31951, Time=1528589111
533	12.5649190	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x69147233, Seq=27718, Time=1528589431
534	12.5653280	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10995, Time=1528589424
536	12.5849370	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x69147233, Seq=27719, Time=1528589591
537	12.5853340	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10996, Time=1528589584
538	12.5892040	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x3A9975AE, Seq=31952, Time=1528589584, Mark
541	12.6049240	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x69147233, Seq=27720, Time=1528589751
542	12.6052980	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10997, Time=1528589744
543	12.6249320	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x69147233, Seq=27721, Time=1528589911
544	12.6252940	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10998, Time=1528589904
545	12.6449260	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x69147233, Seq=27722, Time=1528590071
546	12.6453000	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x68A3837D, Seq=10999, Time=1528590064
548	12.6587240	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x3A9975AE, Seq=31953, Time=1528590231

Frame 510: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-48:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.104.18.51 (10.104.18.51)
 User Datagram Protocol, Src Port: 12656 (12656), Dst Port: 4004 (4004)
 Real-time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B.\... ..Bv..E.
0010 00 0c 00 40 00 40 11 5c c1 ac 10 14 01 0a 08 ...0.0. \.....h
0020 12 33 31 70 0f 44 00 14 bf 64 80 00 24 6b 5b 1c :B.....[
0030 87 70 68 a3 83 7d ff ff ff ff ff 7e 7d 7e 7e qph.}......

```

Figura 4.67a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (192 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (96 kbps) respectivamente

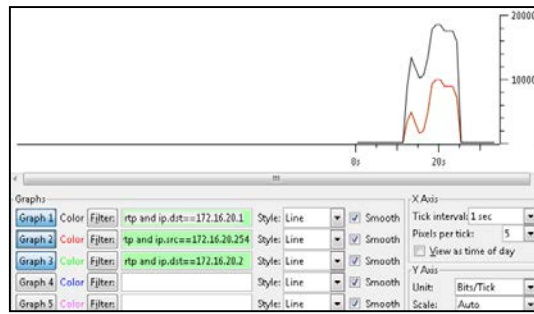


Figura 4.67b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.67c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Plg
172.16.20.1	12056	172.16.20.1	4024	0x68020370	g711u	7	0 (0.0%)	20,340100	0.010400	0.001124	
172.16.20.1	12056	172.16.20.254	31119	0x68020370	g711u	63	0 (0.0%)	30,870100	2,101525	0,570197	
172.16.20.1	12426	172.16.20.2	5032	0x76A5D93D	g711u	400	0 (0.0%)	411,451000	71,392612	14,420133	
172.16.20.2	5032	172.16.20.1	12426	0x68947213	g711u	631	0 (0.0%)	30,714010	2,101745	0,371292	
172.16.20.254	31119	172.16.20.1	12056	0x3A9375A2	g711u	405	0 (0.0%)	411,432000	71,221832	12,344092	

Figura 4.67d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
568	31856	18,53	4,06	-98,24	8,00		[Ok]
564	31857	8,80	5,25	-87,04	9,68		[Ok]
568	31858	21,79	5,04	-88,82	11,20		[Ok]
573	31859	18,81	4,79	-87,64	12,80		[Ok]
577	31860	21,34	4,58	-88,97	14,40		[Ok]
581	31861	21,56	4,39	-90,53	16,00		[Ok]
583	31862	7,56	4,89	-78,09	17,60		[Ok]
587	31863	18,95	4,65	-77,04	19,20		[Ok]

Max delta = 411,43 ms at packet no. 971
 Max jitter = 73,22 ms. Mean jitter = 12,14 ms.
 Max skew = -3169,84 ms.
 Total RTP packets = 405 (expected 405). Lost RTP packets = 0 (0,00%). Sequence errors = 0
 Duration 12,37 s (-2584 ms clock drift, corresponding to 6322 Hz (-20,97%))

Figura 4.67e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711u y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

b) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular

Se procede a capturar los paquetes RTP con el software Wireshark:

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
90.9.90469500	172.16.20.1	10.104.18.51	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35684, Time=1744969888
91.9.92430700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc656905, Seq=1429, Time=1744970048
92.9.92473400	172.16.20.1	10.104.18.51	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35685, Time=1744970048
94.9.93663300	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A832920, Seq=13856, Time=2038482894
95.9.94433700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc656905, Seq=1430, Time=1744970208
96.9.94482700	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35686, Time=1744970208
99.9.96426400	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc656905, Seq=1431, Time=1744970368
100.9.96465600	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35687, Time=1744970368
101.9.98427300	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc656905, Seq=1432, Time=1744970528
102.9.98465100	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35688, Time=1744970528
103.10.00427600	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc656905, Seq=1433, Time=1744970688
104.10.00448900	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35689, Time=1744970688
106.10.00584200	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A832920, Seq=13857, Time=2038482894
108.10.00432200	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc656905, Seq=1434, Time=1744970848
109.10.00468700	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35690, Time=1744970848
110.10.00461200	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x1A832920, Seq=13858, Time=2038483054, Mar
111.10.00650700	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x323C64CC, Seq=22724, Time=2038483048, Mar
114.10.04436000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xc656905, Seq=1435, Time=1744971008
115.10.04477600	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x448B4332, Seq=35691, Time=1744971008

Frame 86: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on Interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-_{a8:38:76} (00:9c:02:a8:38:76), Dst: RouterBo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.104.18.51 (10.104.18.51)
 User Datagram Protocol, Src Port: 18506 (18506), Dst Port: 4004 (4004)
 Real-time Transport Protocol

```

000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B.\...8v..E.
010 00 c8 00 00 40 00 40 11 5c c1 ac 10 14 01 0a 68 ...0.0. ....h
020 12 33 48 a 07 00 00 b4 e7 17 80 08 80 62 68 02 ..0... ..h
030 1f 60 44 8b a3 33 55 55 55 55 55 55 55 55 55 ..0... ..h
    
```

Figura 4.68a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \approx 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (180 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (90 kbps) respectivamente

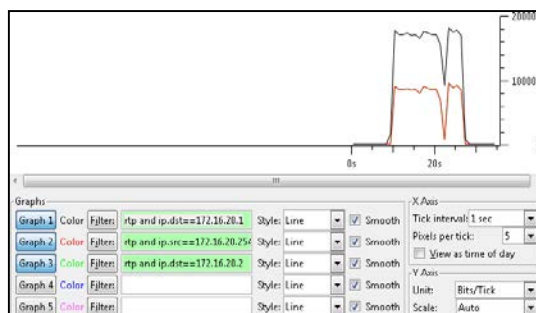


Figura 4.68b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

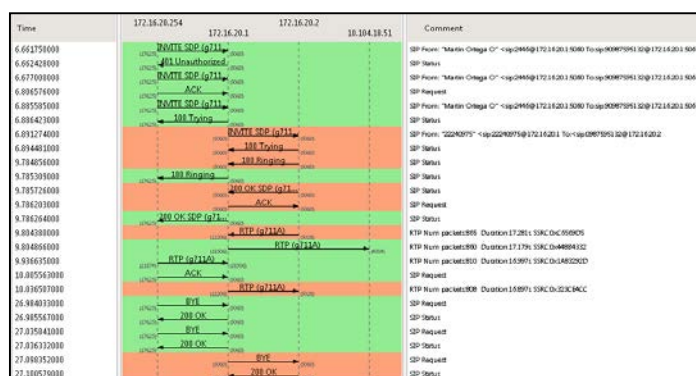


Figura 4.68c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con código G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Fst
172.16.20.1	10100	10.113.158.204	4004	0x4694322	G711A	7	0 (0.0%)	26.140000	8.03075	0.022000	
172.16.20.1	10100	172.16.20.254	21874	0x4694322	G711A	853	0 (0.0%)	21.974000	1.500137	0.418458	
172.16.20.1	12204	172.16.20.2	5008	0x032742C	G711A	100	0 (0.0%)	1032.73000	73.701487	6.55396	
172.16.20.2	5008	172.16.20.1	12204	0x032742C	G711A	855	0 (0.0%)	21.154000	1.138935	0.176231	
172.16.20.254	21874	172.16.20.1	10100	0x4694322	G711A	810	0 (0.0%)	1035.550000	73.70541	6.55928	

Figura 4.68d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
128	13862	16,20	4,74	-68,43	8,64		[Ok]
130	13863	9,02	5,00	-50,26	10,24		[Ok]
134	13864	19,91	4,77	-50,17	13,04		[Ok]
138	13865	19,44	4,40	-57,81	13,44		[Ok]
142	13866	20,90	4,27	-58,72	15,04		[Ok]
146	13867	19,37	4,04	-50,00	16,64		[Ok]
150	13868	10,97	4,35	-40,05	18,24		[Ok]
155	13869	19,60	4,10	-48,65	19,84		[Ok]

Max delta = 1039,56 ms at packet no. 2645
 Max jitter = 73,74 ms. Mean jitter = 6,56 ms.
 Max skew = -1188,63 ms.
 Total RTP packets = 828 (expected 810). Lost RTP packets = 0 (0.005%). Sequence errors = 0
 Duration 17,00 s (-1274 ms clock drift, corresponding to 7401.1Hz (-7.489%))

Figura 4.68e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.711a y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

c) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
386	54.3372420	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x546C61E3, Seq=31065, TTime=593715856
387	54.3568770	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x75241921, Seq=26103, TTime=593716019
388	54.3572070	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x546C61E3, Seq=31066, TTime=593716016
389	54.3769130	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x75241921, Seq=26104, TTime=593716179
390	54.3773040	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x546C61E3, Seq=31067, TTime=593716176
392	54.5974090	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2748, TTime=2003905390
398	54.7161890	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2749, TTime=2003905390
400	54.7963180	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2750, TTime=2003905356, Mark
401	54.7965490	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0xA9A8585, Seq=38823, TTime=2003905552, Mark
402	54.8841520	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2751, TTime=2003905716
403	54.8845870	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0xA9A8585, Seq=38824, TTime=2003905712
404	54.8935610	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2752, TTime=2003905876
405	54.8939180	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0xA9A8585, Seq=38825, TTime=2003905872
408	55.2366620	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2753, TTime=2003906036
409	55.2378520	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0xA9A8585, Seq=38826, TTime=2003906032
410	55.2778310	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2754, TTime=2003906196
411	55.2778570	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0x35A9E214, Seq=2755, TTime=2003906356
412	55.2782160	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	87	PT=GSM 06.10, SSRC=0xA9A8585, Seq=38827, TTime=2003906192

Figura 4.69a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (87 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (70 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (35 kbps) respectivamente

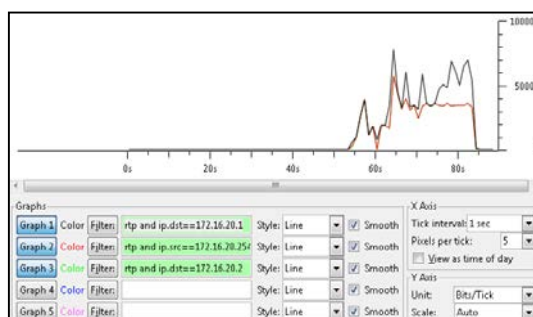


Figura 4.69b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.69c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 5 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.16.20.1	15826	10.111.139.204	4900	0548C91E3	GSM	4	0 (0,0%)	28,997000	0,009991	0,041500
172.16.20.1	16480	172.16.20.2	5930	045A8E214	GSM	1250	0 (0,0%)	2915,221000	65,090989	15,101589
172.16.20.1	15826	172.16.20.254	5930	0548C91E3	GSM	439	0 (0,0%)	3018,900000	54,540342	25,101817
172.16.20.2	5930	172.16.20.1	16480	075243121	GSM	443	0 (0,0%)	5768,104000	100,764453	47,543937
172.16.20.254	59370	172.16.20.1	15826	035A8E214	GSM	1258	0 (0,0%)	286,837000	61,291207	16,505984

Figura 4.69d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analyzing stream from 172.16.20.254 port 59370 to 172.16.20.1 port 15826 SSRC = 0c35A8E214						
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Status
411	2755	0,03	31,82	-560,45	4,14	[Ok]
414	2756	38,16	30,97	-578,61	4,73	[Ok]
416	2757	40,70	30,32	-599,21	5,31	[Ok]
418	2758	80,89	22,24	-660,20	5,80	[Ok]
421	2759	38,92	21,41	-679,23	6,40	[Ok]
423	2760	41,62	30,80	-700,04	7,06	[Ok]
427	2761	366,04	50,50	-1046,88	5,84	[Ok]
429	2762	18,16	47,46	-1045,04	5,84	[Ok]
...

Max delta = 366,04 ms at packet no. 427
 Max jitter = 62,28 ms. Mean jitter = 16,51 ms.
 Max skew = -1441,23 ms.
 Total RTP packets = 1250 (expected 1250) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 29,86 s (-814 ms clock drift, corresponding to 7778 Hz (-2,78%))

Figura 4.69e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec GSM y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

d) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
5281	25.5292750	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x468E1784, Seq=62218, Time=453462272
5286	25.5470430	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C0D4548, Seq=5199, Time=453462433
5287	25.5475230	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x468E1784, Seq=62219, Time=453462432
5292	25.5669730	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C0D4548, Seq=5200, Time=453462593
5293	25.5673880	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x468E1784, Seq=62220, Time=453462592
5295	25.5717750	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x520A743E, Seq=9598, Time=2144344583
5300	25.5869910	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C0D4548, Seq=5201, Time=453462753
5302	25.5873330	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x468E1784, Seq=62221, Time=453462752
5308	25.6067810	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x530A743E, Seq=9599, Time=2144344583
5309	25.6068840	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C0D4548, Seq=5202, Time=453462913
5311	25.6071990	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x468E1784, Seq=62222, Time=453462912
5316	25.6269720	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C0D4548, Seq=9600, Time=453463073
5317	25.6271600	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x530A743E, Seq=9600, Time=2144344743, Mark
5318	25.6273930	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x468E1784, Seq=62223, Time=453463072
5324	25.6469930	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4C0D4548, Seq=5204, Time=453463233
5325	25.6472660	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	214	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x468E1784, Seq=62224, Time=453463232
5326	25.6496170	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=ITU-T G.722, SSRC=0x530A743E, Seq=9601, Time=2144344903
5327	25.6499820	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4AE8E093, Seq=16872, Time=0, Mark
5328	25.6499820	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x4AE8E093, Seq=16872, Time=0, Mark

Frame 5275: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett-Packard (00:0c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 18486 (18486), Dst Port: 4000 (4000)
 # Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 0c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..B....8v..E.
0010 00 08 00 00 40 00 41 00 14 00 08 71          ...@.@.....
0020 9e cc 48 36 0f a0 00 b4 40 be 80 09 f3 99 1b 07  ..h6....@.....
0030 48 60 48 8e 17 84 f8 fc fc fb 9e f8 f8 f7 fb  H.F.....
  
```

Figura 4.70a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.722 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.722 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). Se mide el ancho de banda de la llamada (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (240 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (120 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (120 kbps)

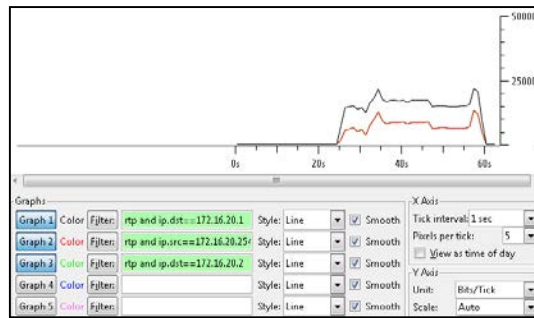


Figura 4.70b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.70c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src. addr	Src. port	Dst. addr	Dst. port	SSRC	Payload	Packets	Len	Max. Diff. (ms)	Max. Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	#Bt.
172.16.20.1	50406	10.113.158.204	4000	0x40821704	g722	11	0 (0.0%)	21.544806	0.240855	1.380000	
172.16.20.1	50406	172.16.20.254	20045	0x40821704	g722	1699	0 (0.0%)	30.021806	1.024393	1.573733	
172.16.20.1	50406	172.16.20.2	5028	0x46480803	g722	1022	0 (0.0%)	520.002080	30.752895442758	174224.312766	
172.16.20.2	5028	172.16.20.1	10228	0x4C2D0468	g722	1718	0 (0.0%)	30.227106	1.728203	1.614207	
172.16.20.254	20045	172.16.20.1	10406	0x5047440E	g722	1025	0 (0.0%)	509.174000	90.251910	30.101946	

Figura 4.70d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
5358	9602	99,27	6,92	-117,11	4,16		[OK]
5367	9603	21,27	6,57	-118,39	5,76		[OK]
5374	9604	16,83	6,36	-115,22	7,36		[OK]
5388	9605	40,41	7,23	-135,63	8,96		[OK]
5396	9606	19,94	6,79	-135,56	10,56		[OK]
5411	9607	41,21	7,69	-156,78	12,16		[OK]
5417	9608	18,26	7,32	-155,84	13,76		[OK]
5423	9609	20,45	6,89	-155,49	15,36		[OK]

Max delta = 520,17 ms at packet no. 6830
 Max jitter = 90,16 ms. Mean jitter = 10,07 ms.
 Max skew = -2713,35 ms.
 Total RTP packets = 1525 (expected 1525) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 33,77 s (-3051 ms clock drift, corresponding to 7514 Hz (-6,87%))

Figura 4.70e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.722 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

e) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
276	23.6428380	172.16.20.1	10.113.158.204	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26290, TTime=1533688232
277	23.6570880	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.729, SSRC=0xA45F002, Seq=21669, TTime=615682614
279	23.6624350	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x60B43F6C, Seq=31970, TTime=1533688392
280	23.6628260	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26297, TTime=1533688392
283	23.6824420	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x60B43F6C, Seq=31971, TTime=1533688552
284	23.6828350	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26298, TTime=1533688552
285	23.7027390	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x60B43F6C, Seq=31972, TTime=1533688712
286	23.7031280	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26299, TTime=1533688712
287	23.7224700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x60B43F6C, Seq=31973, TTime=1533688872
288	23.7228740	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26300, TTime=1533688872
290	23.7424670	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x60B43F6C, Seq=31974, TTime=1533689032
291	23.7427500	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26301, TTime=1533689032
293	23.7567620	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	60	PT=ITU-T G.729, SSRC=0xA45F002, Seq=21669, TTime=615682614
294	23.7624710	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x60B43F6C, Seq=31975, TTime=1533689192
295	23.7628610	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26302, TTime=1533689192
296	23.7760150	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	64	PT=ITU-T G.729, SSRC=0xA45F002, Seq=21670, TTime=615682774, Mark
297	23.7760660	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	64	PT=ITU-T G.729, SSRC=0xA45F002, Seq=21671, TTime=615682824
298	23.7760940	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	64	PT=ITU-T G.729, SSRC=0xA45F002, Seq=21672, TTime=615682894
299	23.7762920	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	74	PT=ITU-T G.729, SSRC=0x32923752, Seq=26303, TTime=1533689352

Frame 272: 74 bytes on wire (592 bits), 74 bytes captured (592 bits) on Interface 0
 # Ethernet II, Src: Hewlett_48:38:76 (00:19:c1:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 # Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.113.158.204 (10.113.158.204)
 # User Datagram Protocol, Src Port: 13388 (13388), Dst Port: 4000 (4000)
 # Real-time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..B... ..8v..E.
0010 00 3c 00 00 40 00 40 11 00 aa 8c 10 14 01 da 71  ..<..0..0...g
0020 9e cc 34 4c 0f a0 00 28 2e 06 80 12 66 b6 5b 6a  ..4L...((....P.]
0030 38 a8 32 92 37 52 4a 91 68 b2 76 bb ed 44 b7 56  8h2.Zh3.f.h.b.v
  
```

Figura 4.71a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se obtiene el tamaño de la trama RTP (74 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) que contiene al códec y se verifica que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). También se comprueba el ancho de banda de la llamada de VoIP. Se tienen valores medidos aproximados:

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (60 kbps)
- Color rojo y verde: ancho de banda en el canal de origen y destino (30 kbps) respectivamente

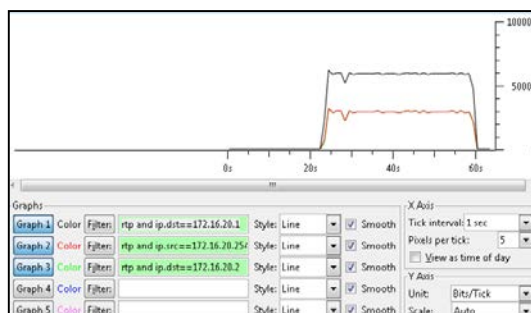


Figura 4.71b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor



Figura 4.71c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Facets	Len	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb
172.16.20.1	13980	192.168.0.101	4002	0x33591783	G729	9	0 (0.0%)	21,102000	8,822556	0,800584	
172.16.20.1	13980	172.16.20.254	50254	0x33591783	G729	188	0 (0.0%)	20,070000	14,02641	0,920384	
172.16.20.1	13044	172.16.20.2	5024	0x1803B5C5	G729	178	0 (0.0%)	20,640000	20,31844	12,203044	
172.16.20.2	5024	172.16.20.1	13044	0x1803B5C5	G729	168	0 (0.0%)	31,780000	1,91201	0,360808	
172.16.20.254	50254	172.16.20.1	13980	0xA45F002	G729	170	11 (6.4%)	20,580000	23,179906	12,312565	X

Figura 4.71d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Slew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
312	21674	78,70	10,48	-128,04	2,80		[Ok]
313	21675	0,05	11,07	-100,09	3,28		[Ok]
319	21676	17,49	10,53	-97,58	3,76		[Ok]
320	21677	0,02	11,12	-77,60	4,24		[Ok]
325	21678	21,02	10,54	-79,42	4,72		[Ok]
327	21679	0,91	11,08	-60,33	5,20		[Ok]
338	21680	77,96	14,01	-118,29	5,68		[Ok]
342	21681	21,80	13,24	-120,09	6,16		[Ok]

Max delta = 230,58 ms at packet no. 3260
 Max jitter = 23,24 ms. Mean jitter = 12,31 ms.
 Max skew = -278,65 ms.
 Total RTP packets = 1803 (expected 1803) Lost RTP packets = 11 (0,61%) Sequence errors = 2
 Duration 36,06 s (-178 mss clock drift, corresponding to 7961 Hz (-0,48%))

Figura 4.71e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.729 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

f) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
47.4.17438400	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x33591783, Seq=38783, Time=1955428144
50.4.19386700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x166A28A0, Seq=21227, Time=1955428308
51.4.19430200	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x33591783, Seq=38784, Time=1955428304
52.4.20831400	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	94	PT=726-32, SSRC=0x1803B5C5, Seq=11841, Time=160, Mark
53.4.21389900	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x166A28A0, Seq=25228, Time=1955428468
54.4.21430700	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x33591783, Seq=38785, Time=1955428464
56.4.23389300	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x166A28A0, Seq=25229, Time=1955428628
57.4.23438500	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x33591783, Seq=38786, Time=1955428624
58.4.23567900	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x1803B5C5, Seq=11842, Time=320
59.4.23621300	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3247F078, Seq=56631, Time=0, Mark
60.4.24052400	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x1803B5C5, Seq=11843, Time=480
61.4.24091900	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3247F078, Seq=56632, Time=160
63.4.25390000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x166A28A0, Seq=21230, Time=1955428788
64.4.25436600	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x33591783, Seq=38787, Time=1955428784
65.4.27388700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x166A28A0, Seq=25231, Time=1955428948
66.4.27433900	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x33591783, Seq=38788, Time=1955428944
67.4.27538800	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	134	PT=726-32, SSRC=0x1803B5C5, Seq=11844, Time=640
68.4.27603000	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3247F078, Seq=56633, Time=320

Frame 45: 134 bytes on wire (1072 bits), 134 bytes captured (1072 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-a8:38:76 (00:19:c0:2a:8:38:76), Dst: Routerbo-9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.101 (192.168.0.101)
 User Datagram Protocol, Src Port: 11976 (11976), Dst Port: 4002 (4002)
 Real-time Transport Protocol

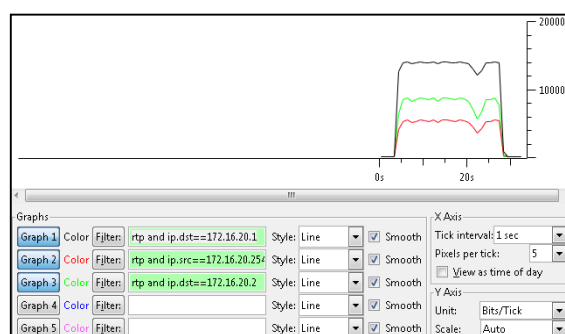
```

000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..B.\...9v..E.
010 00 78 00 00 00 40 11 08 08 30 14 02 c0 a8 .X..8..A.....
020 00 63 2e c8 df a2 00 64 a2 b2 80 73 97 76 74 8d e.....d...S..t.
030 78 80 32 36 12 82 12 12 21 11 12 12 12 12 12
    
```

Figura 4.72a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec G.726-32 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (134 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.726-32 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). Se mide el ancho de banda de la llamada (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (142 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (52 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (90 kbps)



**Figura 4.72b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–
Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con
códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark.
Captura de pantalla-Fuente el autor**

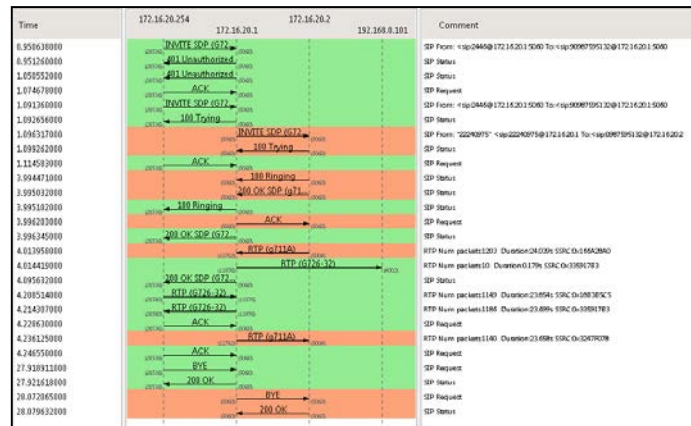


Figura 4.72c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Min Jitter (ms)	Max Jitter (ms)	PKT
172.16.20.1	11976	192.168.0.101	4002	0x39512803	G726-32	0	0 (0.0%)	23,495000	0,505315	8,915500	
172.16.20.1	11976	172.16.20.254	28580	0x20391203	G726-32	1186	0 (0.0%)	20,618000	1,702243	8,524000	
172.16.20.1	11976	172.16.20.2	5014	0x21459708	G726-32	1140	0 (0.0%)	43,477000	7,419445	13,845200	
172.16.20.2	5004	172.16.20.1	11976	0x16650403	G726-32	280	0 (0.0%)	20,695000	1,101515	8,200200	
172.16.20.254	28580	172.16.20.1	11976	0x189805C5	G726-32	1140	43 (3.8%)	43,465000	62,470563	13,863300	X

Figura 4.72d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
67	11844	35,06	2,22	-7,07	3,52		[Ok]
69	11845	5,00	3,02	7,04	4,48		[Ok]
75	11846	34,10	3,71	-6,25	5,44		[Ok]
81	11847	40,26	4,74	-26,51	6,40		[Ok]
83	11848	2,40	5,54	-0,99	7,36		[Ok]
89	11849	37,64	6,30	-26,63	8,32		[Ok]
91	11850	2,55	6,99	-3,18	9,28		[Ok]
97	11851	38,22	7,76	-28,41	10,24		[Ok]

Max delta = 626,47 ms at packet no. 3950
 Max jitter = 62,40 ms. Mean jitter = 13,89 ms.
 Max skew = -766,66 ms.
 Total RTP packets = 1182 (expected 1182) Lost RTP packets = 43 (3,61%) Sequence errors = 11
 Duration 22,95 s (-92 ms clock drift, corresponding to 7969 Hz (-0,30%)

Figura 4.72e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec G.726-32 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

g) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular

Se habilita en el softphone éste códec obteniendo las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
130	9.44067500	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x486A69A2, Seq=9321, Time=519007792
131	9.46024200	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x588A60F4, Seq=9889, Time=519007959
132	9.46070800	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x486A69A2, Seq=9322, Time=519007952
133	9.48020700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x588A60F4, Seq=9890, Time=519008119
134	9.48065600	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x486A69A2, Seq=9323, Time=519008112
135	9.50024100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x588A60F4, Seq=9891, Time=519008279
136	9.50072300	172.16.20.1	192.168.0.101	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x486A69A2, Seq=9324, Time=519008272
137	9.51448400	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x83689C85, Seq=11695, Time=312058231, Mark
138	9.51493600	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3B6E22E, Seq=41507, Time=312058224, Mark
139	9.52028100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x588A60F4, Seq=9892, Time=519008439
140	9.52070200	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x486A69A2, Seq=9325, Time=519008432
141	9.53092200	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x83689C85, Seq=11696, Time=3120582391
142	9.53134400	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3B6E22E, Seq=41508, Time=3120582384
143	9.54029600	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x588A60F4, Seq=9893, Time=519008599
144	9.54074100	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x486A69A2, Seq=9326, Time=519008592
145	9.55324800	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	75	PT=speex, SSRC=0x83689C85, Seq=11697, Time=3120582531
146	9.55367900	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x3B6E22E, Seq=41509, Time=3120582544
147	9.56999700	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x588A60F4, Seq=9894, Time=519008759
148	9.57048200	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	60	PT=speex, SSRC=0x486A69A2, Seq=9327, Time=519008752

Frame 961: 75 bytes on wire (600 bits), 75 bytes captured (600 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-_{ab}:38:76 (00:9c:02:a8:38:76), Dst: Routerbo_9b:5c:da (00:0c:42:9b:5c:da)
 Internet Protocol version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 192.168.0.101 (192.168.0.101)
 User Datagram Protocol, Src Port: 11492 (11492), Dst Port: 60098 (60098)
 Real-time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 9c 02 a8 38 76 08 00 45 b8 ..0. . . . .Bv..E.
0010 00 3d 00 00 40 00 40 11 b8 09 ac 10 14 01 c0 a8 .. .0.0. ....
0020 00 65 2c e4 ea c2 00 29 cd ab 80 08 25 2d 1e ef .e. .... .P&...
0030 65 70 4b 6a 69 a2 3b 9e 44 4f 27 28 f9 df 0c 16 nps11...DQ(C...

```

Figura 4.73a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla–Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec Speex-16 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (75 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec Speex-16 y la trama RTP (214 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (120 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (30 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (90 kbps)

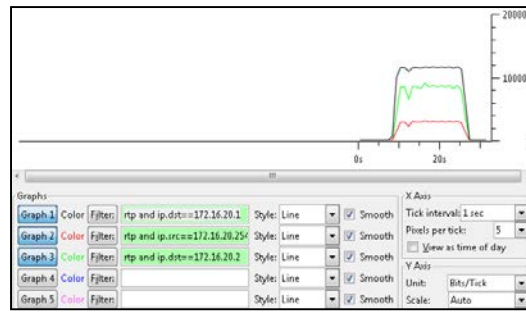


Figura 4.73b. Ancho de banda de la llamada de VoIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

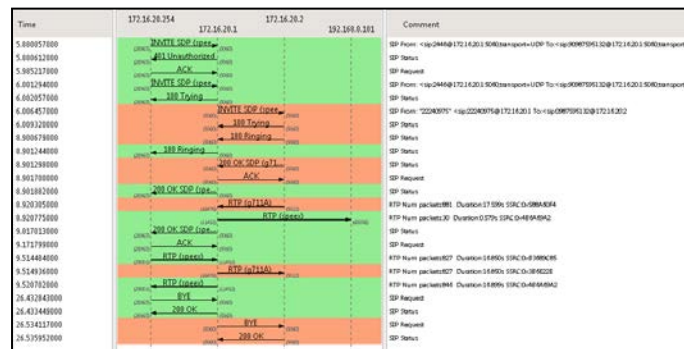


Figura 4.73c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Bytes	Mean Delta (ms)	Min Delta (ms)	Max Delta (ms)	Misses (ms)	Pa?
172.16.20.1	11402	172.16.20.1	60000	0x406416A2	speex	30	0 (0.0%)	22.333000	0.975522	0.975522	0.975522	
172.16.20.1	16476	172.16.20.254	5812	0x108E222F	g711A	827	0 (0.0%)	572.204000	42.864038	10.102756	10.102756	
172.16.20.1	11402	172.16.20.254	29001	0x406416A2	speex	846	0 (0.0%)	32.516000	2.181911	0.555869	0.555869	
172.16.20.2	5812	172.16.20.1	16476	0x5818A1F4	g711A	861	0 (0.0%)	32.497000	1.619571	0.305593	0.305593	
172.16.20.254	29001	172.16.20.1	11402	0x40349C35	speex	827	17 (2.0%)	572.204000	42.849592	10.149136	10.149136	x

Figura 4.73d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
149	11698	19,56	0,36	1,68	1,95		[Ok]
153	11699	19,90	0,34	1,77	2,44		[Ok]
157	11700	22,39	0,47	-0,61	2,93		[Ok]
161	11701	10,12	0,56	1,27	3,42		[Ok]
165	11702	19,35	0,56	1,91	3,90		[Ok]
171	11703	32,26	1,30	-10,35	4,39		[Ok]
173	11704	4,18	2,20	5,48	4,88		[Ok]
181	11705	51,27	4,02	-25,78	5,37		[Ok]

Max delta = 571,20 ms at packet no. 717
 Max jitter = 42,85 ms. Mean jitter = 10,85 ms.
 Max skew = -571,99 ms.
 Total RTP packets = 844 (expected 844). Lost RTP packets = 17 (2.01%) Sequence errors = 5
 Duration 16,85 s (-134 ms clock drift, corresponding to 7946 Hz (0.67%)

Figura 4.73e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec Speex-16 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla- Fuente el autor

h) Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular

Se habilita en el softphone éste códec y se realizan las siguientes capturas:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
163	9.91752100	172.16.20.1	10.104.157.134	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x219FD89C, Seq=59304, Time=46679264
162	9.92014200	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30440, Time=46679424
163	9.94280500	172.16.20.1	10.104.157.134	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x219FD89C, Seq=59305, Time=46679424
164	9.945697100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30441, Time=46679584
165	9.97990000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30442, Time=46679744
166	9.97744200	172.16.20.1	10.104.157.134	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x219FD89C, Seq=59306, Time=46679744
167	9.99416700	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x90265F67, Seq=27332, Time=4106810011, Mark
168	9.99461900	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x503080E2, Seq=23273, Time=128, Mark
169	9.99692100	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30443, Time=46679904
170	9.99748300	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x219FD89C, Seq=59307, Time=46679904
171	10.0168220	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30444, Time=46680064
173	10.0369420	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30445, Time=46680224
174	10.0375670	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x219FD89C, Seq=59308, Time=46680224
175	10.0568000	172.16.20.2	172.16.20.1	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30446, Time=46680384
176	10.0573980	172.16.20.1	172.16.20.254	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x219FD89C, Seq=59309, Time=46680384
177	10.0649320	172.16.20.254	172.16.20.1	RTP	104	PT=iLBC, SSRC=0x90265F67, Seq=27333, Time=4106810251
178	10.0653540	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x503080E2, Seq=23274, Time=288
179	10.0633970	172.16.20.1	172.16.20.2	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x503080E2, Seq=3275, Time=448
180	10.0764850	172.16.20.2	172.16.20.1	RTCP	514	PT=RTCP, G.711 PCMA, SSRC=0x44726FE0, Seq=30447, Time=46680544

Filter: rtp
 Expression: Clear Apply Save

Frame 158: 104 bytes on wire (832 bits), 104 bytes captured (832 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Hewlett-Packard [00:0c:29:1a:18:17], Dst: Realtek [00:0c:29:1a:18:17]
 Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.20.1 (172.16.20.1), Dst: 10.104.157.134 (10.104.157.134)
 User Datagram Protocol, Src Port: 18998 (18998), Dst Port: 60098 (60098)
 Real-Time Transport Protocol

```

0000 00 0c 42 9b 5c da 00 0c 02 a8 38 76 08 00 45 b8  ..B.\...8V..E.
0010 00 5a 00 00 40 00 40 11 d2 db ac 10 14 01 0a 68  .2.#.#.....h
0020 9d 86 4a 36 ea c2 00 46 7f 4a 80 61 e7 a7 02 c8  .36..F..j.a....
0030 43 a0 21 9f 08 6c 14 7f f3 53 60 fd 80 ff ee  C...l...f.....
    
```

Figura 4.74a. Captura del tráfico RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Se observa que el softphone canal origen tiene el códec iLBC-13.33 y el Gateway PSTN canal destino tiene el códec G.711a. Se obtiene el tamaño de la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12 bytes \cong 5 kbps) para el códec iLBC-13.33 y la trama RTP (104 bytes incluido la cabecera RTP de 12

bytes \cong 5 kbps) para el códec G.711a, se comprueba que se mantienen sus tamaños (véase tabla 4.8 y 4.9a). Se mide el ancho de banda de la llamada de VoIP (valores aproximados):

- Color negro: ancho de banda total en una llamada de VoIP (120 kbps)
- Color rojo: ancho de banda en el canal de origen (30 kbps)
- Color verde: ancho de banda en el canal de destino (90 kbps)

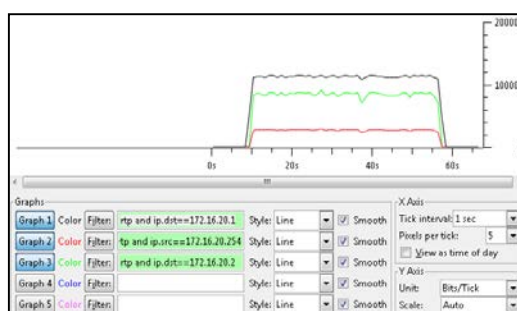


Figura 4.74b. Ancho de banda de la llamada de VoIP– Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

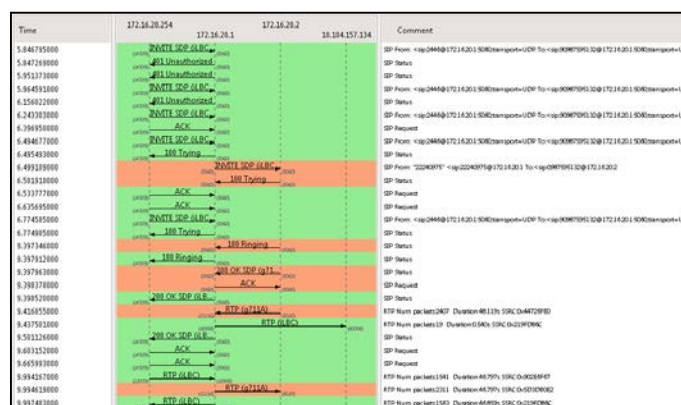


Figura 4.74c. Establecimiento de la llamada SIP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Realizando un análisis más extenso de los streams RTP

Detected 7 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis.										
Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.16.20.1	18998	30.184.107.124	68898	0x218f0c4c	aBC	19	0 (0.0%)	48,95000	0,73719	0,751423
172.16.20.1	15118	172.16.20.2	3420	0x500c90e3	g'11A	2311	0 (0.0%)	29,51200	36,095146	15,174932
172.16.20.1	18998	172.16.20.254	22059	0x218f0c4c	aBC	89	0 (0.0%)	43,39400	0,64012	0,633775
172.16.20.1	18998	172.16.20.254	10366	0x218f0c4c	aBC	1474	0 (0.0%)	49,93400	1,75617	0,471452
172.16.20.2	5810	172.16.20.1	15118	0x44786f18	g'11A	2407	0 (0.0%)	29,84200	1,51079	0,311275
172.16.20.254	22059	172.16.20.1	18998	0x801e6f67	aBC	85	0 (0.0%)	19,87800	17,268484	14,62529
172.16.20.254	10366	172.16.20.1	18998	0x801e6f67	aBC	1496	18 (1.2%)	116,42900	28,618155	11,604819

Figura 4.74d. RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

Analysing stream from 172.16.20.254 port 10366 to 172.16.20.1 port 18998 SSRC = 0x80266f67							
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
627	27422	30,13	1,60	27,56	2,88		[Ok]
633	27423	49,47	2,72	8,58	3,60		[Ok]
636	27424	2,61	4,26	35,89	4,32		[Ok]
642	27425	40,90	5,10	16,59	5,04		[Ok]
648	27426	20,90	5,42	26,89	5,76		[Ok]
651	27427	26,99	5,28	29,10	6,48		[Ok]
658	27428	32,44	5,10	26,76	7,20		[Ok]
665	27429	19,84	4,96	19,84	7,92		[Ok]

Max delta = 226,42 ms at packet no. 4807
 Max jitter = 29,68 ms. Mean jitter = 15,00 ms.
 Max skew = -131,91 ms.
 Total RTP packets = 1474 (expected 1474) Lost RTP packets = 19 (1.22%) Sequence errors = 0
 Duration 44,15 s (-89 ms clock drift, corresponding to 7984 Hz (-0,20%))

Figura 4.74e. Análisis del RTP Streams–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone con códec iLBC-13.33 y un teléfono móvil celular. Wireshark. Captura de pantalla-Fuente el autor

4.6.8. Análisis de resultados del escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular

Obtenidos todos los resultados de las llamadas de VoIP con cada códec de voz de prueba, se resumen estos valores medidos en las capturas de las tramas RTP como se indican en la tabla 4.16.

Analizando los resultados de la QoS obtenidos en las llamadas de VoIP realizadas, se comparan los anchos de banda en los canales de la llamada con su respectivo códec, la latencia, el jitter, la pérdida de paquetes y el MOS de tramas RTP.

códec	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo									
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda del canal destino de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Ancho de banda total de la llamada de VoIP incluido las cabeceras RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms) < 150 ms	Jitter máximo en una trama RTP (ms) < 100 ms	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%) < 1%	Número de paquetes en una trama RTP	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	96	96	192	411,43	73,22	0	485	3.5	Existe retardo en la voz
G.711a	214	90	90	180	1039,56	73,74	0	810	2	Se corta la voz y se retarda
GSM	87	35	35	70	366,04	62,38	0	1258	4	Se retarda un poco la voz
G.722	214	120	120	240	520,17	90,16	0	1525	3	Se retarda un poco la voz y se corta
G.729	74	30	30	60	230,58	23,24	0,61	1803	4	Se retarda un poco la voz
G.726-32	134	52	90	142	626,47	62,48	3,61	1192	3	Se atenúa la voz y se retarda
Speex-16	75	30	90	120	577,2	42,85	2,01	844	2.5	Se corta la voz y se retarda
iLBC-13.33	104	30	90	120	236,43	29,68	1,22	1474	4	Se escucha bien la voz

Tabla 4.16. Resultados de las capturas de tramas RTP–Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

El ancho de banda total que está consumiendo una llamada de VoIP en éste caso con el protocolo SIP tiene una variación un poco elevada con relación a los valores obtenidos en el escenario de prueba 1 (véase la tabla 4.9b).

Se puede apreciar que con los códecs: G.722, G.711u y G.711a, se tiene un mayor ancho de banda (en un canal de la llamada de VoIP con protocolo SIP) y un menor ancho de banda con los códecs: GSM, G.729, Speex-16 e iLBC-13.33, en cambio con el G.726-32 se tiene un valor intermedio. Esto se observa en la tabla 4.17a.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Observación
G.722	120	Mayor
G.711u	96	Mayor
G.711a	90	Mayor
G.726-32	52	Intermedio
GSM	35	Menor
G.729	30	Menor
Speex-16	30	Menor
iLBC-13.33	30	Menor

Tabla 4.17a. Ancho de banda en un canal de la llamada de VoIP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular.

Fuente el autor

Al comparar las latencias en las tramas RTP, se observa que con ningún códec se cumple con el parámetro teórico, pero los de menor valor son el G.729 e iLBC-13.33. Como se indica en la tabla 4.17b.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	< 150 ms
G.729	230,58	NO
iLBC-13.33	236,43	NO
GSM	366,04	NO
G.711u	411,43	NO
G.722	520,17	NO
Speex-16	577,2	NO
G.726-32	626,47	NO
G.711a	1039,56	NO

Tabla 4.17b. Latencia en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

En cuanto al jitter se tiene que con todos los códecs si se cumple con el valor teórico deseado. Indicado en la tabla 4.17c.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	< 100 ms
G.729	23,24	SI
iLBC-13.33	29,68	SI
Speex-16	42,85	SI
GSM	62,38	SI
G.726-32	62,48	SI
G.711u	73,22	SI
G.711a	73,74	SI
G.722	90,16	SI

Tabla 4.17c. Jitter en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

La pérdida de paquetes en las tramas RTP con el códec G.726-32 seguido del Speex-16 es elevada, mientras con el iLBC-13.33 es cercana al valor teórico deseado, en cambio con los demás códecs se está dentro de lo requerido, como se observa en la tabla 4.17d.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	< 1 %
G.726-32	3,61	NO
Speex-16	2,01	NO
iLBC-13.33	1,22	NO
G.729	0,61	SI
G.711u	0	SI
G.711a	0	SI
GSM	0	SI
G.722	0	SI

Tabla 4.17d. Pérdida de paquetes en una trama RTP con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

El MOS adquirido en las pruebas al ser un valor cualitativo corresponde a los criterios de los participantes involucrados en las llamadas de VoIP los cuales han cuantificado al MOS del 1 al 5 de acuerdo a su percepción. Se identifica que los mejores resultados son con los códecs: GSM, G.729 e iLBC-13.33, teniendo el rendimiento más bajo con el G.711a y Speex-16, como se indica en la tabla 4.17e.

Valores prácticos reales-prueba de campo		
códec	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Comentarios según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP
GSM	4	Se retarda un poco la voz
G.729	4	Se retarda un poco la voz
iLBC-13.33	4	Se escucha bien la voz
G.711u	3.5	Existe retardo en la voz
G.722	3	Se retarda un poco la voz y se corta
G.726-32	3	Se atenúa la voz y se retarda
Speex-16	2.5	Se corta la voz y se retarda
G.711a	2	Se corta la voz y se retarda

Tabla 4.17e. MOS con los códecs de voz-Escenario de prueba 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular. Fuente el autor

Como resultado de las comparaciones realizadas en las tablas 4.17b, 4.17c, 4.17d y 4.17e se verifica que con ninguno de los códecs se cumple el

parámetro teórico de latencia. En general en las llamadas de VoIP con su respectivo códec, se obtuvieron mejores resultados con el G.711u y G.722 (banda ancha) y con el GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) a pesar de que no cumplen en su totalidad con los parámetros teóricos necesarios debido a las pérdidas ocasionadas por los factores indicados anteriormente en la transmisión de las tramas RTP. Considerándose a éstos códecs como los más aceptables en éste subescenario de prueba. Comparando con el escenario de prueba 1. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular (cercano al ideal) se establecen como los más apropiados estos mismos códecs.

Realizando un análisis comparativo general de todos los parámetros de QoS durante las llamadas de VoIP con sus respectivos códecs, en el escenario de prueba 2 con los códecs: GSM, G.729 e iLBC-13.33 para banda angosta se tienen los mejores resultados en las llamadas de VoIP.

4.7. ANÁLISIS GENERAL COMPARATIVO DEL ESCENARIO DE PRUEBA 1 Y DEL ESCENARIO DE PRUEBA 2

El análisis se lo realiza comparando los dos escenarios de pruebas 1 y 2 en forma transversal de acuerdo a cada uno de los subescenarios planteados, dando como resultados las tablas 4.18a, 4.18b, 4.18c y 4.18d, en las cuales se pueden observar los valores obtenidos anteriormente de ancho de banda por canal de origen con su respectivo códec, latencia, jitter, pérdida de paquetes y MOS práctico de las tramas RTP analizadas.

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio						Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo					
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	
G.711u	214	87	61,6	16,41	0	5	120	519,33	112,63	0	1.5	
G.711a	214	88	64,63	13,31	0	5	93	839,65	357,69	0	1.5	
GSM	87	34	45,52	13,59	0	2	46	402,1	88,85	0	3	
G.722	214	87	75,08	16,23	0	4	90	720,32	86,92	0	2.5	
G.729	74	30	86,12	19,19	0	4	45	441,57	65,15	0	3	
G.726-32	134	55	60,89	15,47	0	3	55	638,92	73,03	9,75	1	
Speex-16	75	30	211,59	21,58	0	3	40	379,68	37,63	0,93	2.5	
iLBC-13.33	104	29	89,86	18,01	0	4	30	557,43	142,03	0	3.5	

Tabla 4.18a. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre dos softphones. Fuente el autor

Comparando los valores de los escenarios de prueba 1 y 2 en general se establece que los códecs: G.729 e iLBC-13.33 son los que presentan los mejores resultados en las llamadas de VoIP (refiérase al escenario de pruebas 1 y 2 detallados anteriormente).

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio						Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo				
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms) < 150 ms	Jitter máximo en una trama RTP (ms) < 100 ms	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%) < 1%	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms) < 150 ms	Jitter máximo en una trama RTP (ms) < 100 ms	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%) < 1%	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	86	132,66	15,49	1,37	5	105	461,86	322,46	0,05	1.5
G.711a	214	86	50,38	14,12	0	5	115	760,16	219,82	0	1.5
GSM	87	35	45,49	13,36	0	4	36	479,62	115,32	0	3
G.722	214	85	46,71	12,97	0,07	5	120	693,11	102,86	0	2
G.729	74	30	61,52	13,98	0,29	4.5	47	670,9	49,88	0	3.5
G.726-32	134	54	59,85	14,18	0	3	55	453,6	51,07	7,11	2
Speex-16	75	32	126,73	21,1	0	4	42	1310,56	96,17	0	3
iLBC-13.33	104	29	91,58	18,08	0	4	35	760,8	170,28	0	4

Tabla 4.18b. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo. Fuente el autor

Comparando los valores de los escenarios de prueba 1 y 2 en general se establece que los códecs: G.729 e iLBC-13.33 son los que presentan los mejores resultados en las llamadas de VoIP (refiérase al escenario de pruebas 1 y 2 detallados anteriormente).

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio						Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo					
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms) < 150 ms	Jitter máximo en una trama RTP (ms) < 100 ms	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%) < 1%	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms) < 150 ms	Jitter máximo en una trama RTP (ms) < 100 ms	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%) < 1%	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	
G.711u	214	88	90,22	158,43	0,07	4	120	150,13	101,91	0,22	3	
G.711a	214	87	22,77	0,39	0	4	110	172,81	60,05	0	2.5	
GSM	87	34	104,72	20,91	0	4	34	113,5	16,36	0	3	
G.722	214	87	42,45	1,65	0,06	4	90	300,64	119,18	0	2.5	
G.729	74	30	92,29	45,44	0	4	34	384,57	29,56	0	4.5	
G.726-32	134	54	88,2	43,17	0	3	60	654,01	47,67	1,56	1	
Speex-16	75	33	210,58	28,34	0	3	33	407,91	39,27	0	1	
iLBC-13.33	104	29	113,86	62,02	0,24	4	30	231,04	31,6	0	4.5	

Tabla 4.18c. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN.

Fuente el autor

Comparando los valores de los escenarios de prueba 1 y 2 en general se establece que los códecs: G.729 e iLBC-13.33 son los que presentan los mejores resultados en las llamadas de VoIP (refiérase al escenario de pruebas 1 y 2 detallados anteriormente).

código	Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de laboratorio						Valores prácticos reales en una llamada de VoIP con protocolo SIP-prueba de campo				
	Tamaño de una trama RTP con cabecera, canal origen de la llamada de VoIP (bytes)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)	Ancho de banda del canal origen de la llamada de VoIP incluido la cabecera RTP (kbps)	Latencia máxima en una trama RTP (ms)	Jitter máximo en una trama RTP (ms)	Pérdida de paquetes en una trama RTP (%)	MOS práctico (según criterios de los participantes en las llamadas de VoIP)
G.711u	214	88	73,82	14,83	0	4	96	411,43	73,22	0	3.5
G.711a	214	87	121,63	19,19	0,47	4.5	90	1039,56	73,74	0	2
GSM	87	35	54,65	13,88	0	4.5	35	366,04	62,38	0	4
G.722	214	85	20,5	0,25	0	4.5	120	520,17	90,16	0	3
G.729	74	30	68,04	6,19	0	4.5	30	230,58	23,24	0,61	4
G.726-32	134	52	66,58	15,2	0	3.5	52	626,47	62,48	3,61	3
Speex-16	75	30	220,37	27,34	1,25	3.5	30	577,2	42,85	2,01	2.5
iLBC-13.33	104	29	74,99	17	0	4.7	30	236,43	29,68	1,22	4

Tabla 4.18d. Comparación. Escenarios de pruebas 1 y 2. Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular.

Fuente el autor

Comparando los valores de los escenarios de prueba 1 y 2 en general se establece que los códecs: G.729 e iLBC-13.33 son los que presentan los mejores resultados en las llamadas de VoIP (refiérase al escenario de pruebas 1 y 2 detallados anteriormente).

4.8. RESUMEN DE LAS COMPARACIONES CON LOS CÓDECS DE VOZ EN LAS LLAMADAS DE VOIP REALIZADAS

Los resultados generales se resumen en dos tablas, en las cuales se realizan comparaciones detalladas entre los subescenarios, además de los escenarios de pruebas planteados, en donde se indican que los códecs: G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta) son los que tienen un mejor comportamiento en las llamadas de pruebas realizadas de VoIP en ésta investigación.

Comparación entre subescenarios de pruebas 1 y 2				
Comparación general de los escenarios de pruebas 1 y 2	Escenario de prueba 1 (pruebas de laboratorio)	Escenario de prueba 2 (pruebas de campo)	Resultados comunes	Resultados generales
Llamada entre dos softphones	G.711a, G.711u y G.722 (banda ancha) G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)
Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	G.711a, G.722 (banda ancha) GSM, G.729, iLBC-13.33 y Speex-16 (banda angosta)	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	
Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	G.711a y G.722 (banda ancha) GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	
Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	G.711a, G.711u y G.722 (banda ancha) GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	G.711u y G.722 (banda ancha) GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	G.711u y G.722 (banda ancha) GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	

Tabla 4.19a. Comparación de subescenarios de pruebas 1 y 2 con los códecs de voz. Fuente el autor

Comparación general de los escenarios de pruebas 1 y 2				
Escenario de prueba 1 (pruebas de laboratorio)	Mejores resultados	Resultados comunes	Resultados generales	
Llamada entre dos softphones	G.711a, G.711u y G.722 (banda ancha) G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	G.711a y G.722 (banda ancha) G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	
Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	G.711a, G.722 (banda ancha) GSM, G.729, iLBC-13.33 y Speex-16 (banda angosta)			
Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	G.711a y G.722 (banda ancha) GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)			
Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	G.711a, G.711u y G.722 (banda ancha) GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)			
Escenario de prueba 2 (pruebas de campo)	Mejores resultados	Resultados comunes		
Llamada entre dos softphones	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)		
Llamada entre un softphone y un teléfono IP fijo	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)			
Llamada entre un softphone y un teléfono de la PSTN	GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)			
Llamada entre un softphone y un teléfono móvil celular	G.711u y G.722 (banda ancha) GSM, G.729 e iLBC-13.33 (banda angosta)			

Tabla 4.19b. Comparación general de los escenarios de pruebas 1 y 2 con los códecs de voz. Fuente el autor

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- No se puede establecer un único códec de voz como concluyente para las comunicaciones de VoIP pero se pueden tener en consideración por lo menos sus características en ancho de banda y MOS para su elección en una aplicación determinada. Siendo estos factores relevantes en ésta investigación.
- La toma de datos se efectúa en horarios nocturnos o distintos a los utilizados en las labores dentro de la institución para el análisis y comprobación de las características funcionales que manejan los códecs de voz, evitando tener la presencia de tráfico en la red de comunicaciones, excepto el generado por las llamadas de pruebas de VoIP.

- En las pruebas realizadas se observa que los códecs de voz utilizados en las llamadas de VoIP pueden ser heredados por el equipo terminal destino, siempre que éste esté también disponible en el mismo, caso contrario es recodificado por el servidor de VoIP.
- Al realizar las verificaciones de los tamaños que manejan los diferentes códecs de voz utilizados en las llamadas de VoIP efectuadas de manera real, se observa que éstos no cambian, independientemente de los escenarios y subescenarios de pruebas propuestos. Donde el escenario de prueba 1 (prueba de laboratorio) se acerca a un escenario ideal.
- El análisis de las tramas RTP de las llamadas de VoIP efectuadas en el escenario de prueba 1, presenta buenos resultados en general, con los códecs de voz: G.711a y G.722 para banda ancha y con los códecs de voz: G.729 e iLBC-13.33 para banda angosta, con relación a los ocho códecs de voz: G.711u, G.711a, GSM, G.722, G.729, G.726-32, Speex-16 e iLBC-13.33 elegidos en éste presente estudio, por su compatibilidad con los equipos que conforman la red de comunicaciones de VoIP existente en la institución.
- En el escenario de prueba 2 (prueba de campo) con los códecs de voz: GSM, G.729 e iLBC-13.33 para banda angosta, se muestran también resultados positivos de acuerdo a la evaluación de las tramas RTP de las llamadas de VoIP realizadas.
- Las comparaciones de los códecs de voz utilizados en los diferentes escenarios y subescenarios de pruebas planteados en ésta investigación, demuestran que los códecs: G.729 e iLBC-13.33 de banda angosta son los más aptos para su utilización en llamadas de VoIP con teléfonos móviles celulares inteligentes que tienen cuentas SIP registradas en aplicaciones softphones y que están configuradas

con la dirección IP interna del servidor de VoIP cuando la conexión es mediante la red WLAN del campus universitario o con la dirección IP pública de la institución, asignada por el proveedor de servicios de internet y datos CEDIA (Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado) cuando la conexión es a través de una red WLAN externa y/o plan de servicios de internet y datos móviles 3G.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para la evaluación correcta de los códecs de voz, se necesitan de herramientas adecuadas tanto en hardware y/o software que permitan realizar una toma de datos confiables para su valoración. En el presente estudio se utilizó el software Wireshark que es de uso libre, para el monitoreo de las llamadas de VoIP y evaluación de los códecs de voz.
- Se debe considerar que el personal que realice estudios de códecs de voz para una determinada aplicación, debe de estar capacitado en conocimientos teóricos para efectuar las comparaciones de las características que manejen los mismos, como también en conocimientos prácticos para la administración adecuada de los recursos tecnológicos que se utilicen en las pruebas respectivas. Por estas razones se realizó una investigación y capacitación previa para desarrollar éste estudio.
- Todos los equipos de pruebas que se utilicen para el análisis de los códecs de voz, deben de ser configurados bajo políticas de seguridad para evitar posibles vulnerabilidades de la red de comunicaciones de VoIP donde se desarrolle el estudio. En la institución educativa en la cual se ejecutó la presente investigación se cuenta con políticas de

seguridad que están en constante cambio para mantener su privacidad.

- En conexiones inalámbricas se recomienda utilizar códecs de voz de banda angosta o intermedia, tomando en cuenta que también buscan garantizar una adecuada comunicación tratando de obtener un punto de equilibrio entre eficiencia y calidad de la voz como lo hacen los códecs de banda ancha utilizados generalmente en conexiones alámbricas.
- Al existir cada vez nuevos códecs de voz en el mercado mundial, estos deben de ser sometidos a diferentes estudios de evaluación para su utilización en determinadas aplicaciones de acuerdo a las necesidades requeridas. Siendo éste estudio un referente para futuras investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agbinya, J. I. (2009). *IP Communications and Services for NGN*. London, United Kingdom: Taylor & Francis Group. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=ZmUUL2xC9mEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Carballar Falcón, J. A. (2007). *VoIP: La telefonía de internet*. Madrid, España: Paraninfo. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=j7Nuzoet5glC&pg=PA160&lpg=PA160&dq=protocolos+mgcp+e+megaco&source=bl&ots=E4QxO8wHhF&sig=EtyGYJ1eNZMLbRM4UcmL58USaBQ&hl=es&sa=X&ei=sFgbVfTsMe7dsASAn4HQDg&ved=0CDsQ6AEwBjgK#v=onepage&q=protocolos%20mgcp%20e%20megaco&f=f>
- Digital, A. (2015). *Adaptive digital field proven codecs for voice applications, save both time and Energy*. Obtenido de http://www.adaptivedigital.com/product/vocoder_index.htm?gclid=CMWVgcCn2sMCFdgKgQodlQIAaQ#gsm
- ElastixTech. (s.f.). *Codecs y formatos en telefonía IP*. Obtenido de <http://elastixtech.com/codecs-y-formatos-en-telefonia-ip/>
- ElastixTech. (s.f.). *QoS-calidad de servicio para VoIP*. Obtenido de <http://elastixtech.com/qos-calidad-de-servicio-para-voip/>
- España Boquera, M. C. (2003). *Servicios avanzados de telecomunicación*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=yTSoYCiXYAAC&pg=PA24&lpg=PA24&dq=g.728+aplicaciones&source=bl&ots=F3k1Sybow2&sig=FgMRTqsa6OjduyWRqxI2PO9iC6M&hl=es&sa=X&ei=PjMfVZ7QlisyHsQTRoYKQAw&ved=0CC4Q6AEwAw#v=onepage&q=g.728%20aplicaciones&f=false>
- European Telecommunications Standards Institute. (2015). *World Class Standards*. Obtenido de <http://www.etsi.org//standards-search?page=1&search=Search...&matchall=true&matchany=false&matchexact=true&title=true&keywords=true&ed=true&versions=false>
- Guanga Vallejo, R. Y., & León Noguera, Y. A. (2012). Análisis y evaluación de codecs de audio para transmisión de VoIP en infraestructuras de redes MPLS sobre Linux (Tesis de Pregrado). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingenierías en Sistemas*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/2540/1/18T00516.pdf>
- Gutiérrez Gil, R. (11 de Enero de 2007). Seguridad en VoIP: Ataques, Amenazas y Riesgos. *Universitat de Valencia*. España. Obtenido de <http://www.uv.es/=montanan/ampliacion/trabajos/Seguridad%20VoIP.pdf>
- IHS Engineering360. (2015). *Standard: NCS - NCS - FED-STD-1015*. Obtenido de <http://standards.globalspec.com/std/783875/ncs-fed-std-1015>
- International Telecommunication Union. (15-16 de Enero de 2007). *The Status of Voice Over Internet Protocol (VoIP) Worldwide, 2006*. Obtenido de <http://www.itu.int/osg/spu/ni/voice/papers/FoV-VoIP-Biggs-Draft.pdf>
- Internet Engineering Task Force. (actualizado 08 de Abril de 2015). *IETF Documents*. Obtenido de <https://tools.ietf.org/html/>

- Joskowicz, J. (Agosto de 2013). Voz, Video y Telefonía sobre IP. *Universidad de la República, Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería*. Montevideo, Uruguay. Obtenido de <http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/ccu/material/docs/Voz%20Video%20y%20Telefonia%20sobre%20IP.pdf>
- López Chalacán, V. H. (2011). Análisis de la paquetización de voz sobre IP empleando el protocolo de inicio de sesiones SIP con back to back User Agent (B2BUA) en una aplicación sobre redes WI-FI (Tesis de Pregrado). *Universidad Politécnica Salesiana, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4845/1/T-ESPE-032947.pdf>
- López Zambrano, J. H. (Julio de 2014). Fundamentación de factibilidad y conveniencia en el diseño de una propuesta de un sistema de comunicación, basada en una solución tecnológica Open Source para la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Portoviejo (Tesis de Maestría). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Sistema de Posgrado*. Guayaquil, Guayas, Ecuador. Obtenido de <http://www2.ucsg.edu.ec/biblioteca/2014-02-17-21-00-36/catalogo-opac.html>
- Micolini, O., Herrera, A. J., & Sauchelli, V. (2015). *Análisis de tráfico en un servidor de VoIP*. Obtenido de http://www.academia.edu/6589517/An%C3%A1lisis_de_tr%C3%A1fico_en_un_servidor_de_VoIP
- Moreno, J. I., Soto, I., & Larrabeiti, D. (Mayo-Junio de 2001). Protocolos de Señalización para el transporte de Voz sobre redes IP. *Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Telemática, Publicado en: Novática nº 151, p. 14-20*. Madrid, España. Obtenido de http://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/4295/protocolos_soto_N_2001.pdf
- Network Working Group. (08 de Marzo de 2010). *SILK Speech Codec draft-vos-silk-01*. Obtenido de <http://tools.ietf.org/html/draft-vos-silk-01>
- Radio-Electronics.com. (s.f.). *GSM audio codec / vocoder*. Obtenido de http://www.radio-electronics.com/info/celulartelecomms/gsm_technical/audio-codecs-vocoders-amr-celp.php
- Speex. (1994-2006). *Speex: a free Codec for free speech*. Obtenido de <http://www.speex.org/>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (actualizado 31 de Julio de 2006). *P.800: Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión*. Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/es>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2015). *El protocolo de transmisión de voz por internet (VoIP) llega a la mayoría de edad*. Obtenido de <http://www.itu.int/net/itunews/issues/2009/07/21-es.aspx>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (actualizado 09 de Marzo de 2015). *Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales*. Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/es>
- VoipForo. (s.f.). *Codecs*. Obtenido de <http://www.voipforo.com/codec/codecs.php>
- Voip-Info.org. (2003-2015). *Codecs*. Obtenido de <http://www.voip-info.org/wiki/view/Codecs>
- Xiph.org. (1994-2013). *IETF standardizes the Opus audio codec as RFC 6716 Opus reference implementation 1.0.1 released*. Obtenido de <https://www.xiph.org/press/2012/rfc-6716/>