

Evaluación de los Parámetros que Afectan la Calidad de Servicio en Telefonía IP*

Evaluation of Parameters Affecting the Quality of Service (QoS) in IP Telephony

Mayra Fernanda Blanco Almeida**
César Manuel Lovera Cabrera***

RESUMEN

La telefonía IP no es un servicio nuevo, la mayoría de grandes empresas lo utilizan por sus beneficios relacionados con sus bajos costos y una variedad de funcionalidades. Sin embargo, en casi todos los casos no se emplean los canales de telefonía IP dedicados para el transporte de la voz sino que esta es transportada junto con los paquetes de datos y es principalmente en esos casos donde se presentan inconvenientes con la calidad del servicio.

De acuerdo a las normas de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) existen parámetros que afectan la QoS (Quality of Service) en VoIP (Voz IP) y durante el desarrollo de esta investigación se estudió dichos parámetros y se analizó los resultados de la simulación de algunos de estos en un laboratorio de prueba sobre MPLS para mostrar sus efectos en la QoS.

Palabras clave: Telefonía IP, Voz IP, Calidad de servicio, Parámetros, Pérdida de paquete.

ABSTRACT

IP telephony is not a new service; most companies use it because of its benefits in terms of cost and functionality. However, in most cases, IP telephony channels for transporting voice are not used in a dedicated manner but, instead, voice is carried along with the data packets and is principally in such cases that difficulties are presented in service quality.

According to the ITU (International Telecommunication Union) standards, there are parameters that affect the QoS (Quality of Service) in VoIP (VoIP) and during the development of this research these parameters were studied and the results of the simulation of some of them were analyzed in a test lab on MPLS to show their effects on QoS.

Key words: IP telephony, VoIP, QoS (Quality of Service), Parameters, Packet loss.

* Tesis de investigación para optar por el título de Magíster en Ingeniería-Telecomunicaciones: Evaluación de los modelos utilizados para la medición de los parámetros de calidad de servicio en la telefonía IP. Línea de investigación: Servicios de Telecomunicaciones, Mayra Fernanda Blanco Almeida.

** Ingeniera de Telecomunicaciones Universidad Santo Tomás sede Bucaramanga, Estudiante Maestría en Ingeniería-Telecomunicaciones Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Calle 59 No 17-41 Apt. 403 Bogotá. mfblancoa@unal.edu.co, línea de investigación: Servicios de Telecomunicaciones.

*** Ingeniero en Electrónica, Magíster en Telemática. Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, vinculado al Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial en el área de Telecomunicaciones, redes de computadores, circuitos digitales y teoría de señales. Carrera 45 # 26-85 Bogotá. cmloverac@unal.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La telefonía IP es un servicio basado en la tecnología de Voz sobre el Protocolo de Internet (VoIP), cuya ventaja principal es que permite una convergencia mayor en las redes de telecomunicaciones y es por esta razón que en la actualidad es ofrecida por todas las empresas de este tipo y por aplicaciones web gratuitas. Sin embargo, la utilización de la tecnología de VoIP (voz sobre IP) implica una serie de inconvenientes porque en ocasiones no se logra ofrecer la calidad de servicio adecuada para la satisfacción de los usuarios.

Durante el desarrollo de la telefonía IP se han creado modelos que permiten medir la calidad de este servicio, con el fin de definir los parámetros que se deben garantizar para ofrecerlo con calidad a los clientes; partiendo de esta premisa, en este artículo se analizan dichos parámetros sobre canales dedicados. Los principales son definidos por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), y, después de estudiarlos teóricamente, se realizó la evaluación en un ambiente de laboratorio. Es importante indicar que las pruebas estuvieron limitadas por los equipos y los métodos necesarios para obtener la simulación de cada parámetro.

2. METODOLOGÍA

La metodología implementada en el desarrollo de la investigación consta de cuatro etapas: **1) Revisión de la literatura:** donde se determinaron los parámetros que afectan la calidad de servicio en telefonía IP y los estándares que debe cumplir cada parámetro para garantizar que una llamada Voz sobre IP se establezca y desarrolle con calidad. **2) Pruebas en el laboratorio:** se diseñó un escenario de pruebas y se implementó en un laboratorio con equipos CISCO; durante las pruebas se establecieron llamadas entre dos extensiones ubicadas en sitios geográficamente diferentes conectados por una red MPLS y se realizó la captura de paquetes de las llamadas establecidas para obtener el valor de cada parámetro estudiado: pérdida de paquetes, ancho de banda, latencia y jitter. **3) Análisis de los resultados:** se realizó una comparación de las capturas obtenidas en las pruebas con los estándares que, según la revisión de la literatura, debe cumplir cada parámetro. **4) Conclusiones y resultados:** con base en el análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas de laboratorio se concluyó el efecto que los parámetros estudiados generan sobre la calidad de servicio en telefonía IP.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La telefonía IP es un servicio basado en la tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) que utiliza el protocolo de transporte en tiempo real (RTP) de UDP, con el objetivo de transportar la voz sobre canales de datos [1] [2]. La utilización de Internet para transportar telefonía IP inició en el año 1996 y en ese momento la calidad de servicio era realmente baja, comparada con la telefonía pública conmutada (telefonía tradicional) [3]; sin embargo, en este momento gracias a los estudios en este

campo y la utilización de redes dedicadas como MPLS para transportar la voz, la calidad de servicio ha mejorado considerablemente.

3.1. Requisitos de la Telefonía IP

Es importante describir los requisitos necesarios para ofrecer un servicio de telefonía IP, ya que de estos se derivan sus fallas.

Códec: Como la voz se transmite por un canal de datos, es necesario transformar la señal análoga (voz) a digital. El códec realiza la conversión de la voz analógica entrante en un flujo digital y convierte ese nuevo flujo digital a un patrón de voz analógica en el destino final. Existen diferentes tipos de códec ,como se aprecia en la Tabla 1, dependiendo del ancho de banda que utilizan por llamada.

Tabla 1. Ancho de banda para cada códec [4]

Códec	Ancho de banda
G.711	64 kbps
Internet Low Bitrate Códec (iLBC)	15,2 kbps
G.729	8 kbps
G.726	32 kbps
G.729a	8 kbps
G.728	16 kbps

Protocolo de señalización: Antes de iniciar la transmisión de la voz en la telefonía IP es necesario establecer una conexión entre los dos extremos de la comunicación, para este fin se utiliza el protocolo de señalización. Entre los protocolos más conocidos se encuentran:

- SIP (*Session Initiation Protocol*), el cual está basado en el modelo Cliente/Servidor encargado del establecimiento, modificación, y finalización de las llamadas.
- SCCP (*Skinny Client Control Protocol*), es un protocolo de señalización, propiedad de CISCO Systems, Inc, que se utiliza para el control de llamadas cuando se cuenta con un servicio de PBX para llamar entre extensiones de una misma empresa y cuyo servidor de llamadas es el *Call Manager* también propiedad de CISCO [4].

Protocolo de comunicación: El protocolo utilizado para la comunicación entre los dispositivos telefónicos es RTP (*Real Time Protocol*), este protocolo se encarga de las comunicaciones en tiempo real y opera sobre UDP por lo que cuando se pierden paquetes estos no se retransmiten.

Protocolo de enrutamiento: Se refiere al protocolo utilizado para enrutar el tráfico de voz por un canal de Internet o de datos (intranet y extranet), en el cual la calidad de la voz puede ser degradada. Dentro de los principales protocolos se encuentran: BGP (*Border Gateway Protocol*), IBGP (*Internal Border Gateway Protocol*) y OSPF (*Open Shortest Path First*).

3.2. Calidad del servicio (QoS-Quality of Service)

Según la UIT, la calidad de servicio (QoS) se define como: “La totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio” [5], y de acuerdo con IETF es el: “Conjunto de requisitos del servicio que debe cumplir la red en el transporte de un flujo” [6].

Dada la importancia de la QoS existen métodos y modelos utilizados para la evaluación de la calidad de servicio en la telefonía IP: los métodos subjetivos, los cuales dependen de la percepción y opinión de una persona que escucha una conversación y los métodos objetivos que son algoritmos encargados de medir la calidad de servicio de una llamada por las condiciones de la red y el entorno en condiciones específicas. Gracias a estos métodos se determinaron los niveles del MOS (*Mean Opinion Store*), donde se identifican con valores el nivel de excelencia de una conversación, siendo 1 la más baja calidad y 5 la mayor, como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. MOS, Mean Opinion Store [7]

Opinión del usuario	MOS
Excelente	5
Buena	4
Regular	3
Mediocre	2
Mala	1

3.3. Parámetros que garantizan la QoS

A continuación se describen los tres parámetros característicos que afectan la calidad de servicio con el fin de medirlos en el laboratorio y llegar a conclusiones sobre su influencia en la calidad de la VoIP.

Ancho de banda

En las redes digitales, se define como la capacidad de transporte del canal medido en Bytes para la transmisión de los datos y depende del número de llamadas que se realizarán de forma simultánea sobre la red [3].

El ancho de banda está relacionado directamente con el códec y es por esto que cuando no se tiene el nivel adecuado para soportar el códec utilizado, la calidad del servicio se puede ver afectada porque se empieza a presentar saturación en el canal. En la Tabla 3 se aprecia el ancho de banda requerido para una llamada que se transporta por el estándar de transmisión Ethernet de acuerdo al códec empleado y, adicionalmente, se observa la relación de cada códec con el valor MOS.

Tabla 3. Cálculo del ancho de banda de acuerdo al códec [8]

Información de códec				Cálculos de ancho de banda			
Velocidad de bits y códec (kbps)	Ejemplo de tamaño del códec (bytes)	Ejemplo de intervalo del códec (ms)	Mean Opinion Score (MOS)	Tamaño de la carga útil de voz (bytes)	Tamaño de la carga útil de voz (ms)	Paquetes por segundo (PPS)	Ancho de banda Ethernet (kbps)
G.711 (64 kbps)	80 bytes	10 ms	4,1	160 bytes	20 ms	50	87,2 kbps
G.729 (8 kbps)	10 bytes	10 ms	3,92	20 bytes	20 ms	50	31,2 kbps
G.723.1 (6,3 kbps)	24 bytes	30 ms	3,9	24 bytes	30 ms	34	21,9 kbps
G.723.1 (5,3 kbps)	20 bytes	30 ms	3,8	20 bytes	30 ms	34	20,8 kbps
G.726 (32 kbps)	20 bytes	5 ms	3,85	80 bytes	20 ms	50	55,2 kbps
G.726 (24 kbps)	15 bytes	5 ms		60 bytes	20 ms	50	47,2 kbps
G.728 (16 kbps)	10 bytes	5 ms	3,61	60 bytes	30 ms	34	31,5 kbps

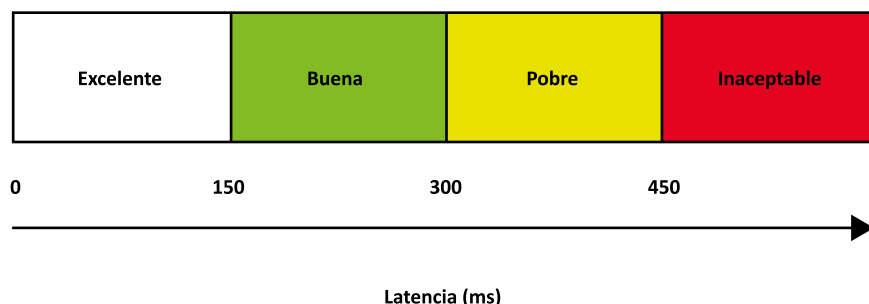
Pérdida de paquetes

Cuando en el canal de transmisión se presenta congestión (saturación) se empiezan a perder paquetes de voz y como RTP es un protocolo no orientado a conexión no maneja reenvío de paquetes. Cuando la pérdida es mayor al 1 % de los paquetes enviados [4], la calidad del servicio de VoIP comienza a ser afectada. Una de las causas de la congestión es la utilización del mismo canal de voz para el transporte de los datos; en estos casos cuando no se realiza una evaluación correcta del ancho de banda necesario, lo más probable es la afectación de la calidad de VoIP.

Latencia

“La latencia es el tiempo que tarda un paquete de información en ser recibido por el *host* (terminal) final o receptor desde que la trama de datos comenzó a ser transmitida por el *host* inicial o emisor” [9]. Existen tres tipos de latencia catalogados como retardos:

- Retardo fijo: Son los valores de retardo que siempre se presentarán en una red por la distancia que debe recorrer un paquete.
- Retardo variable: Son valores que de acuerdo a la causa que lo ocasiona se pueden corregir y disminuir con el fin de no afectar la calidad de servicio. Dependiendo de los tiempos de retardo (latencia) la percepción de la calidad de servicio se ve afectada, como se aprecia en la Figura 1.

**Figura 1. Relación entre la calidad de voz percibida y la latencia [9]**

- Jitter: Son las variaciones de retardo que se presentan entre paquetes. Por ejemplo, un paquete llega con un retardo de 110 ms al destino y el segundo paquete, con un retardo de 130 ms; entonces el jitter es de 20 ms entre paquetes. El ideal para que no se presente afectación en la calidad del servicio es que este sea menor a 30 ms [4].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de analizar el efecto de los diferentes parámetros descritos anteriormente sobre la calidad de servicio se realizaron pruebas de llamadas en un laboratorio bajo MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) y utilizando como planta telefónica el CUCM (*Cisco Unified Communications Manager-CallManager*). La topología del escenario de pruebas se aprecia en la Figura 2, donde se especifican las extensiones usadas para hacer las llamadas:

- Extensión: 4095, origen de las llamadas de pruebas.
- Extensión: 2395, destino de las llamadas de pruebas.

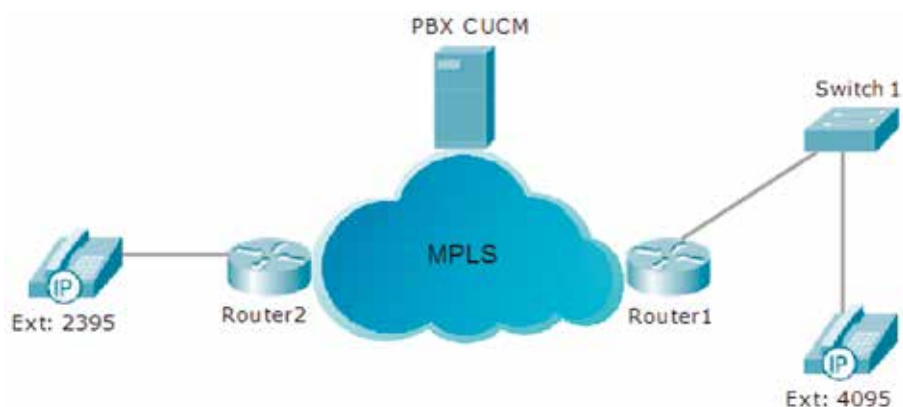


Figura 2. Topología del escenario de pruebas en laboratorio

Fuente: Elaborado por los autores

La captura de información se realizó por medio de *Wireshark* y a continuación se presenta la información obtenida en una llamada con calidad de servicio y una en la que se escucha la voz entrecortada y robotizada.

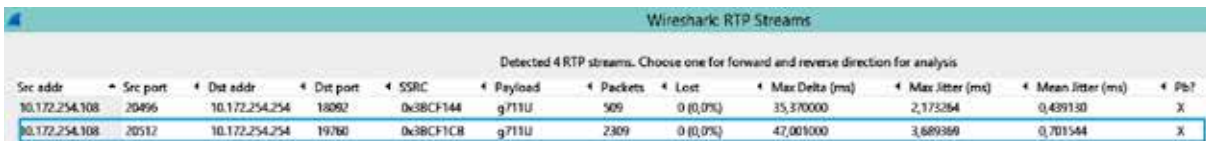
4.1 Llamada con QoS

La llamada realizada cumplía las siguientes características:

- Utiliza el códec G711.
- Extensión: 4095, origen de la llamada.
- Extensión: 2395, destino de la llamada.
- El ancho de banda en las últimas millas de cada uno de los extremos de la llamada es de: 1 Mbps.
- Se está utilizando el canal solamente para la transmisión de VoIP.

A continuación se presentan las capturas obtenidas en el origen y destino de la llamada:

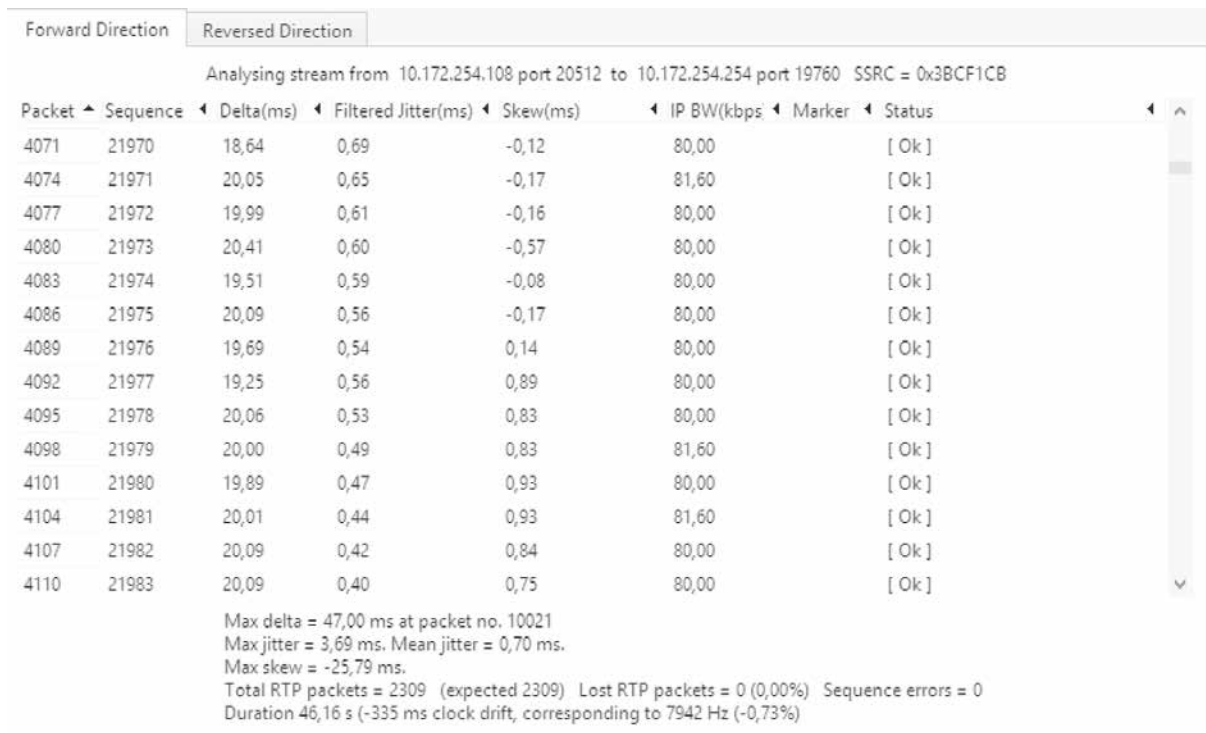
Origen-Extensión: 4095



Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb?
10.172.254.108	20496	10.172.254.254	18092	0x38CF144	g711U	509	0 (0,0%)	35,370000	2,173264	0,439130	X
10.172.254.108	20512	10.172.254.254	19760	0x38CF1CB	g711U	2309	0 (0,0%)	47,001000	3,689369	0,701544	X

Figura 3. Captura en Wireshark de llamada con QoS en la extensión 4095

Fuente: Elaborado por los autores



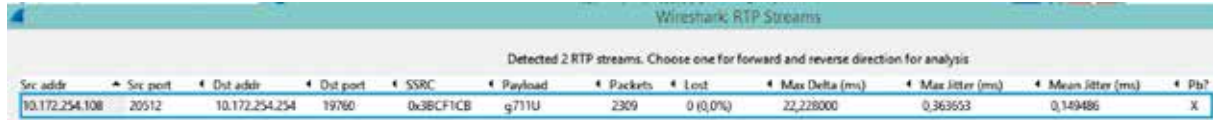
Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
4071	21970	18,64	0,69	-0,12	80,00		[Ok]
4074	21971	20,05	0,65	-0,17	81,60		[Ok]
4077	21972	19,99	0,61	-0,16	80,00		[Ok]
4080	21973	20,41	0,60	-0,57	80,00		[Ok]
4083	21974	19,51	0,59	-0,08	80,00		[Ok]
4086	21975	20,09	0,56	-0,17	80,00		[Ok]
4089	21976	19,69	0,54	0,14	80,00		[Ok]
4092	21977	19,25	0,56	0,89	80,00		[Ok]
4095	21978	20,06	0,53	0,83	80,00		[Ok]
4098	21979	20,00	0,49	0,83	81,60		[Ok]
4101	21980	19,89	0,47	0,93	80,00		[Ok]
4104	21981	20,01	0,44	0,93	81,60		[Ok]
4107	21982	20,09	0,42	0,84	80,00		[Ok]
4110	21983	20,09	0,40	0,75	80,00		[Ok]

Max delta = 47,00 ms at packet no. 10021
 Max jitter = 3,69 ms. Mean jitter = 0,70 ms.
 Max skew = -25,79 ms.
 Total RTP packets = 2309 (expected 2309) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 46,16 s (-335 ms clock drift, corresponding to 7942 Hz (-0,73%))

Figura 4. Detalle paquetes capturados en Wireshark de llamada con QoS en la extensión 4095

Fuente: Elaborado por los autores

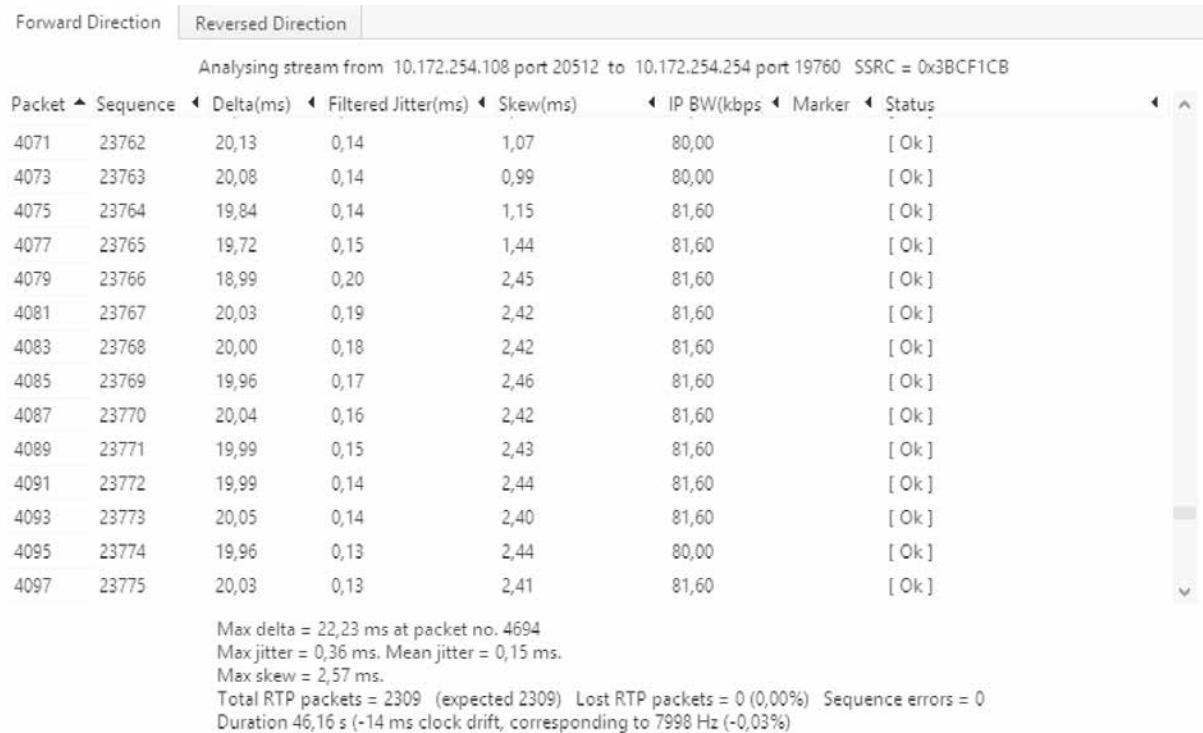
En la Figura 3 se aprecia que en este escenario no se presenta pérdida de paquetes (Lost: 0 %), la latencia está por debajo de los 150 ms (Max delta: 47 ms). Este resultado se considera como una llamada excelente y el jitter es menor a 20 ms (Max jitter: 3,6 ms). En la Figura 4 se muestran en detalle algunos de los paquetes enviados y no se presenta pérdida de estos.

Destino-Extensión: 2395


Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb?
10.172.254.108	20512	10.172.254.254	19760	0x3BCF1CB	g711U	2309	0 (0,0%)	22,228000	0,363653	0,149486	X

Figura 5. Captura en Wireshark de llamada con QoS en la extensión 2395

Fuente: Elaborado por los autores



Forward Direction | Reversed Direction

Analysing stream from 10.172.254.108 port 20512 to 10.172.254.254 port 19760 SSRC = 0x3BCF1CB

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
4071	23762	20,13	0,14	1,07	80,00		[Ok]
4073	23763	20,08	0,14	0,99	80,00		[Ok]
4075	23764	19,84	0,14	1,15	81,60		[Ok]
4077	23765	19,72	0,15	1,44	81,60		[Ok]
4079	23766	18,99	0,20	2,45	81,60		[Ok]
4081	23767	20,03	0,19	2,42	81,60		[Ok]
4083	23768	20,00	0,18	2,42	81,60		[Ok]
4085	23769	19,96	0,17	2,46	81,60		[Ok]
4087	23770	20,04	0,16	2,42	81,60		[Ok]
4089	23771	19,99	0,15	2,43	81,60		[Ok]
4091	23772	19,99	0,14	2,44	81,60		[Ok]
4093	23773	20,05	0,14	2,40	81,60		[Ok]
4095	23774	19,96	0,13	2,44	80,00		[Ok]
4097	23775	20,03	0,13	2,41	81,60		[Ok]

Max delta = 22,23 ms at packet no. 4694
 Max jitter = 0,36 ms. Mean jitter = 0,15 ms.
 Max skew = 2,57 ms.
 Total RTP packets = 2309 (expected 2309) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 46,16 s (-14 ms clock drift, corresponding to 7998 Hz (-0,03%))

Figura 6. Detalle paquetes capturados en Wireshark de llamada con QoS en la extensión 2395

Fuente: Elaborado por los autores

En la Figura 5 se aprecia que en este escenario no se presenta pérdida de paquetes (Lost: 0 %), la latencia está por debajo de los 150 ms (Max delta: 22,2 ms). Este resultado se considera como una llamada excelente y el jitter es menor a 20 ms (Max jitter: 0,36 ms). En la Figura 6 se muestran en detalle algunos de los paquetes enviados y no se presenta pérdida de estos.

4.2 Llamada sin QoS

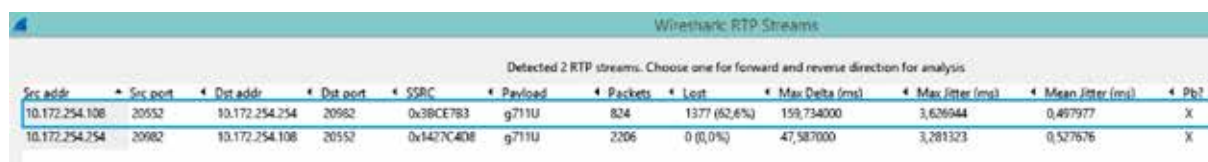
La llamada realizada cumplía las siguientes características:

- Utiliza el códec G711.
- Extensión: 4095, origen de la llamada.
- Extensión: 2395, destino de la llamada.

- El ancho de banda en la última milla de la extensión 4095 (origen de la llamada) es 1 Mbps.
- El ancho de banda en la última milla de la extensión 2395 (destino de la llamada) es 30 kbps.
- Se está utilizando el canal solamente para la transmisión de VoIP.

A continuación se presentan las capturas obtenidas en el origen y destino de la llamada:

Origen-Extensión: 4095



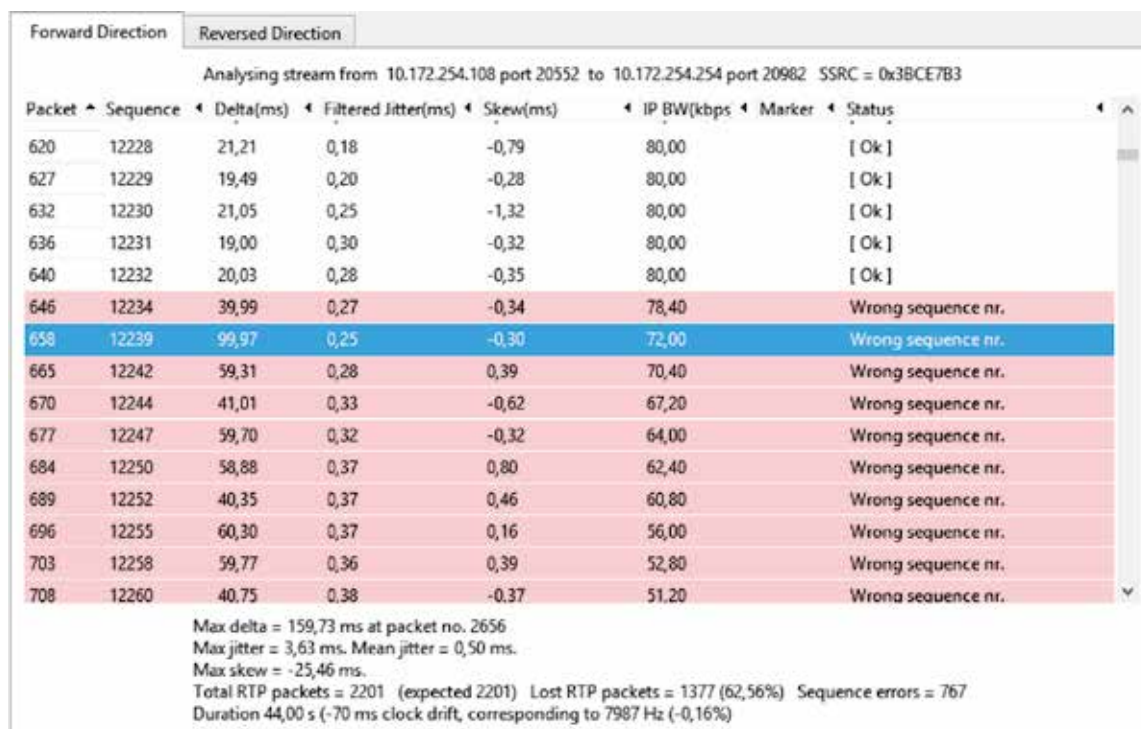
WireShark RTP Streams

Detected 2 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)	Pb?
10.172.254.108	20552	10.172.254.254	20982	0x3BCE7B3	g711U	824	1377 (62,6%)	159,734000	3,626944	0,497977	X
10.172.254.254	20982	10.172.254.108	20552	0x1427C408	g711U	2206	0 (0,0%)	47,587000	3,281323	0,527676	X

Figura 7. Captura en Wireshark de llamada sin QoS en la extensión 4095

Fuente: Elaborado por los autores



Forward Direction | Reversed Direction

Analysing stream from 10.172.254.108 port 20552 to 10.172.254.254 port 20982 SSRC = 0x3BCE7B3

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
620	12228	21,21	0,18	-0,79	80,00		[Ok]
627	12229	19,49	0,20	-0,28	80,00		[Ok]
632	12230	21,05	0,25	-1,32	80,00		[Ok]
636	12231	19,00	0,30	-0,32	80,00		[Ok]
640	12232	20,03	0,28	-0,35	80,00		[Ok]
646	12234	39,99	0,27	-0,34	78,40		Wrong sequence nr.
658	12239	99,97	0,25	-0,30	72,00		Wrong sequence nr.
665	12242	59,31	0,28	0,39	70,40		Wrong sequence nr.
670	12244	41,01	0,33	-0,62	67,20		Wrong sequence nr.
677	12247	59,70	0,32	-0,32	64,00		Wrong sequence nr.
684	12250	58,88	0,37	0,80	62,40		Wrong sequence nr.
689	12252	40,35	0,37	0,46	60,80		Wrong sequence nr.
696	12255	60,30	0,37	0,16	56,00		Wrong sequence nr.
703	12258	59,77	0,36	0,39	52,80		Wrong sequence nr.
708	12260	40,75	0,38	-0,37	51,20		Wrong sequence nr.

Max delta = 159,73 ms at packet no. 2656
 Max jitter = 3,63 ms. Mean jitter = 0,50 ms.
 Max skew = -25,46 ms.
 Total RTP packets = 2201 (expected 2201) Lost RTP packets = 1377 (62,56%) Sequence errors = 767
 Duration 44,00 s (-70 ms clock drift, corresponding to 7987 Hz (-0,16%))

Figura 8. Detalle paquetes capturados en Wireshark de llamada sin QoS en la extensión 4095

Fuente: Elaborado por los autores

En la Figura 7 se aprecia que el porcentaje de la pérdida de los paquetes es demasiado alto (Lost: 62,6 %), la latencia supera los 150 ms (Max delta: 159,73 ms) y el jitter se mantiene menor a 20 ms (Max jitter: 3,63 ms). En la Figura 8 se muestran en detalle algunos de los paquetes enviados y se aprecia que la cantidad de paquetes perdidos es alta.

Destino-Extensión: 2395

Src addr	Src port	Dst addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	PbT
10.172.254.108	20552	10.172.254.254	20982	0x8BCE783	g711U	2203	0 (0,0%)	21,590000	0,496278	0,223739	
10.172.254.254	20982	10.172.254.108	20552	0x1427C4D8	g711U	831	1374 (62,3%)	119,834000	0,335218	0,209717	X

Figura 9. Captura en Wireshark de llamada sin QoS en la extensión 2395

Fuente: Elaborado por los autores

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
142	1127	20,05	0,07	-0,96	73,60		[Ok]
144	1128	19,83	0,08	-0,79	75,20		[Ok]
146	1129	20,37	0,09	-1,16	76,80		[Ok]
148	1130	19,92	0,09	-1,09	78,40		[Ok]
150	1131	19,71	0,11	-0,80	80,00		[Ok]
152	1132	19,92	0,10	-0,71	80,00		[Ok]
154	1133	19,91	0,10	-0,63	80,00		[Ok]
157	1135	39,60	0,12	-0,23	78,40		Wrong sequence nr.
160	1137	40,76	0,16	-0,99	76,80		Wrong sequence nr.
164	1140	60,17	0,16	-1,16	73,60		Wrong sequence nr.
168	1143	60,54	0,18	-1,70	70,40		Wrong sequence nr.
171	1145	39,21	0,22	-0,91	68,80		Wrong sequence nr.
175	1148	59,97	0,21	-0,88	65,60		Wrong sequence nr.
179	1151	59,87	0,21	-0,75	62,40		Wrong sequence nr.
183	1154	59,50	0,22	-0,25	60,80		Wrong sequence nr.
186	1156	40,94	0,27	-1,19	57,60		Wrong sequence nr.

Max delta = 119,83 ms at packet no. 3029
 Max jitter = 0,34 ms. Mean jitter = 0,21 ms.
 Max skew = -1,81 ms.
 Total RTP packets = 2205 (expected 2205) Lost RTP packets = 1374 (62,31%) Sequence errors = 779
 Duration 44,08 s (-664 ms clock drift, corresponding to 7879 Hz (-1,51%))

Figura 10. Detalle paquetes capturados en Wireshark de llamada sin QoS en la extensión 2395

Fuente: Elaborado por los autores

En la Figura 9 se aprecia que el porcentaje de pérdida de paquetes también es demasiado alto (Lost: 62,3 %), la latencia no supera los 150 ms (Max delta: 119,8 ms) y el jitter se mantiene menor a 20 ms (Max jitter: 0,33 ms). En la figura 10 se muestran en detalle algunos de los paquetes enviados y se aprecia que la cantidad de paquetes perdidos es alta.

5. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de esta investigación se dieron a conocer los parámetros que influyen en la calidad de servicio y los valores ideales para que no se presenten inconvenientes. De acuerdo a las pruebas realizadas en el laboratorio se concluye que cuando el ancho de banda es el adecuado no deben aparecer valores fuera del rango permitido para el jitter, la pérdida de paquetes y la latencia; en

el momento en que se afecta el ancho de banda en la última milla de algún extremo de la llamada el impacto será el aumento en la pérdida de paquetes y en tiempo de la latencia de los dos extremos de la llamada; el jitter no se ve afectado directamente pues mantiene el mismo valor medio que en una llamada con ancho de banda correcto.

Finalmente, teniendo en cuenta los escenarios planteados y evaluados en el laboratorio se llega a la conclusión que la calidad de servicio no se verá afectada solamente cuando todos los parámetros no cumplen los valores estipulados, con que algún parámetro supere el valor ideal una llamada puede empezar a presentar problemas de degradación de la voz; así que en las futuras investigaciones la evaluación de otros escenarios puede ofrecer la visión de que otros factores afectan la calidad de servicio en la telefonía IP.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson (2003,07). IETF RFC-3550, A Transport Protocol for Real-Time Applications (RTP), [En línea]. Disponible en: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>
- [2] T.-K. Chua and D.C. Pheanis (2006). Effects of Loss Characteristics on Loss-Recovery Techniques for VoIP. Presentado en: International Conference on Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies (ICNICONSMCL'06).
- [3] J. F. M. Bro, C. Meinel, "Can VoIP Live up to the QoS Standards of Traditional Wireline Telephony", en Telecommunications, pp. 126-132, 2008, Fourth Advanced International Conference on Telecommunications, 2008.
- [4] J. Cioara, M. Valentine, *CCNA Voice 640-461 Official Certification Guide*. Indianapolis, USA: Cisco Press, 2011, pp. 21-410. Memoria de Congreso.
- [5] Recomendación UIT-T E.800, Definiciones de términos relativos a la calidad de servicio (2008,09), pp. 3-4.
- [6] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, H. Sandick (1998,08). IETF-RFC 2386, A Framework for QoS-based Routing in the Internet, [En línea]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc2386.html>.
- [7] Recomendación UIT-T P.800, Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión (1996,08), pp. 12-13.
- [8] Cisco Systems Inc (2008,05,19). Voz sobre IP-Consumo de ancho de banda por llamada. [En línea]. Disponible: http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/7/73/73295_bwidth_consume.pdf
- [9] G.R. Cristina, "Parámetros actuales y nuevas tendencias en Calidad de Servicio (QoS) en el mercado de la Telefonía sobre IP (VoIP)", trabajo de grado, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2015.