

Procedimiento de medición y evaluación de QOS en una red de telecomunicaciones

QOS measurement and evaluation procedure in a telecommunications network

Resumen: en la mayoría de las redes de telecomunicaciones en las que se ha implementado VoIP, no se evalúan adecuadamente los niveles de calidad ofrecidos, lo cual es esencial para su mejora y comercialización. Este artículo desarrolla un procedimiento para la medición y evaluación de la QoS en VoIP, aplicable tanto en redes fijas como móviles. Se identifican parámetros clave como el retardo, jitter y pérdida de paquetes, y se establecen métodos de medición adaptados a cada tipo de red. El procedimiento se valida mediante su aplicación en escenarios reales en una red de telecomunicaciones, demostrando su efectividad para ofrecer una evaluación precisa de la QoS y permitiendo al proveedor mejorar continuamente la calidad del servicio en ambos entornos.

Palabras clave: Calidad de Servicio (QoS), Voz sobre IP (VoIP), Red Móvil, Nauta-Hogar, Zona-Pública Wi-Fi, Medición.

Abstract: In most telecommunications networks where VoIP has been implemented, the quality levels offered are not adequately assessed, which is essential for their improvement and

Artículo de investigación

•Recepción: 07/04/2025
•Aceptación: 09/09/2025

Yoan Larry Cecilio Nuñez

Ing. Telecomunicaciones, MSc. Telemática,
Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA, Cuba.
yoanlarry.cecilio@etecsa.cu

Gabriela Milián Teijeiro

Ing. Telecomunicaciones, Empresa de
Telecomunicaciones de Cuba SA.
gabynteijeiro2000@gmail.com

Diana Gil Quintero

Ing. Telecomunicaciones, Empresa de
Telecomunicaciones de Cuba SA, Cuba.
dianigil2001@gmail.com

Como citar este artículo / To reference this article: Y. L. Cecilio, G. Milián y D. Gil, "Procedimiento de medición y evaluación de QOS en una red de telecomunicaciones", *Punto de inflexión*, vol. 2, no. 1, e-1257, 2026, doi: 10.22579/30286425.1257



commercialization. This article develops a procedure for measuring and evaluating QoS in VoIP, applicable to both fixed and mobile networks. Key parameters, such as delay, jitter, and packet loss, are identified, and measurement methods tailored to each network type are established. The procedure is validated through its application in real-life scenarios in one telecommunications network, demonstrating its effectiveness in providing an accurate QoS assessment and allowing the provider to continuously improve the quality of service in both environments..

Keywords: Quality of Service (QoS), Voice Over IP (VoIP), Mobile Network, Nauta-Hogar, Public Wi-Fi, Measurement, Evaluation, Parameters.

Introducción

La Voz sobre IP (*Voice over IP*, VoIP por sus siglas en inglés) consiste en la transmisión de voz y contenido multimedia a través de una conexión a una red basada en el Protocolo de Internet (*Internet Protocol*, IP por sus siglas en inglés). Al operar sobre IP, un protocolo de “Mejor Esfuerzo”, VoIP requiere garantías de calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS por sus siglas en inglés) debido a la naturaleza en tiempo real y sensible a la pérdida de la comunicación de voz [1]. A diferencia de la telefonía tradicional de conmutación de circuitos, las redes IP fueron diseñadas originalmente para tráfico de datos no sensible a retardos. Por lo tanto, asegurar métricas como baja latencia, *jitter* y pérdida de paquetes es fundamental para lograr calidad en las llamadas VoIP.

VoIP hace posible que la señal de voz viaje a través de protocolos de Internet. Divide el audio y video en paquetes IP, codificando la señal; convierte la señal analógica a señal digital y reensambla estos

paquetes al receptor final por medio de protocolos de señalización, logrando la comunicación entre usuarios. Por ello, es claro que, debido a su naturaleza, sea potencialmente integrable a sistemas informáticos y de tratamiento de datos [2]. Los proveedores de telefonía utilizan VoIP para potenciar sus servicios telefónicos para los clientes en lugar de tener que instalar y mantener líneas y equipos telefónicos físicos. VoIP ayuda a realizar y recibir llamadas de alta calidad y ofrece funciones avanzadas que normalmente no están disponibles en el servicio de telefonía fija [3].

El servicio de VoIP ya ha sido implementado en la red de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, pero aún no se ha llevado a cabo una evaluación adecuada de los niveles de QoS que ofrece. Es fundamental que las llamadas telefónicas sean claras, sin interrupciones y con un retraso imperceptible, similar a una llamada en una red telefónica tradicional. Además, la infraestructura de la red debe estar en ca-

pacidad de gestionar el tráfico de VoIP de manera eficiente.

Al monitorizar la calidad de servicio, el proveedor de telecomunicaciones puede garantizar que la implementación de VoIP en su red no solo genere eficiencia económica y beneficios a largo plazo, sino que también cumpla con su compromiso de proporcionar servicios de telecomunicaciones de alta calidad.

Este artículo tiene como objetivo resolver la necesidad de definir un procedimiento que permita medir y evaluar los parámetros de QoS de VoIP en cualquier punto de la red de telecomunicaciones, lo que permitirá contar con un diagnóstico válido para la toma de decisiones en el momento de implementar el servicio con la calidad que esperan los clientes.

Metodología

Definir el marco de trabajo para la planificación y ejecución del diseño de pruebas de medición y evaluación de QoS en VoIP sobre red móvil, ADSL y wifi es fundamental, ya que proporciona claridad y dirección. El marco de trabajo que se propone consta de cinco fases consideradas durante la elaboración del diseño. Las fases 1, 2 y 3 establecen las bases para la realización del diseño. La fase 4 agrupa un conjunto de elementos importantes a la hora de establecer las condiciones en las que se realizarán las pruebas; resulta importante tener en cuenta el orden de estos elementos y que se cumpla con las condiciones que

todos indican. Por último, se encuentra la fase 5, de vital importancia, pues en ella se darán conclusiones y se mostrarán los resultados del procedimiento.

FASE 1: Objetivos del monitoreo de QoS

El procedimiento se centra en la medición y evaluación de la QoS de VoIP sobre redes móviles, Nauta-Hogar y zonas wifi públicas. Esta evaluación es crucial para identificar problemas que puedan afectar el rendimiento del servicio y, en consecuencia, facilitar la implementación de medidas correctivas que lo mejoren.

El enfoque del procedimiento está orientado a la recolección de datos reales y confiables, lo cual es esencial para la gestión eficiente de redes. Tomar decisiones basadas en datos precisos permite evitar una gestión inadecuada de las capacidades de la red. Este enfoque sistemático es clave para garantizar una QoS óptima, apoyando tanto la operación eficiente de la red como su evolución futura [4].

FASE 2: Establecimiento de los parámetros a medir durante las pruebas de qos en VoIP

Los parámetros de QoS se emplean para evaluar la calidad de diversos aspectos de un servicio. Según los objetivos de medición y evaluación, se establecen los parámetros más adecuados para medir la calidad global del servicio, tal como la percibe el usuario. Dentro del conjunto de parámetros de QoS, es fundamental seleccionar aquellos que tengan mayor relevancia para la experiencia del usuario y que sean

aplicables en el monitoreo práctico. En este caso, se proponen los siguientes parámetros clave: latencia o retardo, *jitter* y pérdida de paquetes [5,6,7].

- **Latencia:** es un parámetro crucial para la comunicación en tiempo real. Los retrasos perceptibles en la conversación afectan la interacción natural. Una latencia excesiva puede provocar dificultades en la comprensión, especialmente en llamadas interactivas o colaborativas.
- **Jitter:** es un parámetro que afecta la sincronización entre los paquetes de voz. Si hay una variabilidad significativa en el tiempo de llegada de los paquetes, la calidad del audio se ve comprometida. Un alto *jitter* puede causar eco, interrupciones en la conversación y una experiencia deficiente para los usuarios. La inconsistencia en la llegada de paquetes afecta la fluidez de las llamadas.
- **Pérdida de paquetes:** es un parámetro relacionado directamente con la fragmentación o distorsión del audio. Incluso una pequeña tasa de pérdida afecta significativamente la calidad de la llamada. La pérdida de paquetes puede resultar en palabras o frases inaudibles, lo que afecta la experiencia del usuario.

FASE 3: Caracterización de la red VoIP a evaluar

La caracterización de la red es un componente esencial en el desarrollo de pruebas de QoS y debe realizarse a partir de los datos proporcionados por

el operador. Es crucial comprender el comportamiento actual de la red para seleccionar los escenarios de evaluación más adecuados. Además, la caracterización facilita la determinación de la distribución temporal de las mediciones, basándose en un análisis del tráfico y en la identificación de los horarios pico, que representan los períodos de máxima carga en la red, donde las demandas de tráfico son más elevadas. El análisis detallado de los datos específicos de la red es clave para implementar un procedimiento de medición y evaluación de QoS robusto y relevante, garantizando una evaluación precisa y una mejora continua del servicio VoIP en la red.

Al evaluar los servicios de un proveedor de servicios de internet (*Internet Service Provider*, ISP por sus siglas en inglés), es crucial caracterizar la red específica del ISP en cuestión, ya que cada ISP puede tener una configuración de red única, adaptada a sus necesidades, con su propia topología, protocolos y equipos. Entender estos detalles es fundamental para realizar pruebas de QoS efectivas.

Es importante realizar un estudio detallado de la topología de la red VoIP del proveedor de servicios y comprender el comportamiento del tráfico a nivel de protocolos. Además, es necesario analizar los elementos específicos de la arquitectura de la red VoIP, como el protocolo de señalización y el *codec* de audio utilizados, así como conocer las rutas que toman tanto la información de señalización como los paquetes

de voz a través de los componentes de la red. Conocer estos aspectos es clave para garantizar una medición precisa de la calidad del servicio. Además, una configuración óptima de los dispositivos de acceso a la red evita problemas de interoperabilidad y optimiza la gestión del ancho de banda, previniendo complicaciones adicionales en la red. En el caso de la red analizada, el servicio VoIP se configura con el protocolo SIP y el *codec* G.711.

Es esencial definir los equipos de acceso para las pruebas de QoS en los escenarios de zona pública wifi y Nauta-Hogar, debido a las diferencias en la forma en que los usuarios se conectan. En la zona pública wifi, los usuarios se conectan a puntos de acceso (*Acces Point*, AP por sus siglas en inglés) con variaciones en la capacidad de señal, manejo de interferencias y número de usuarios. En Nauta-Hogar, la conexión se realiza mediante módems, donde la estabilidad y velocidad varían según el uso de cable Ethernet o wifi, y la distancia a la central telefónica.

Se propone utilizar los AP Huawei WA-251DK y WA201DK para zona pública, y los módems ADSL TP-LINK TD W8901NS y TD W8961NS como elemento de acceso a la red de los clientes residenciales. Para las pruebas, se sugiere usar la velocidad más baja (1024/512 kbps) para evaluar el peor escenario de QoS en VoIP y asegurar el funcionamiento del servicio en condiciones desfavorables.

FASE 4: Condiciones para realizar las pruebas de medición y evaluación de qos en VoIP

Se propone realizar mediciones activas mediante pruebas manuales en el punto final de la red, ya que son esenciales para entender cómo los usuarios perciben la QoS. Estas pruebas brindan una visión completa de extremo a extremo, crucial para los operadores por razones regulatorias. Además, permiten verificar la precisión de las métricas, así como la disponibilidad y continuidad del servicio [8].

En el contexto de las telecomunicaciones, el término “terminal de extremo” [9] se refiere a los dispositivos en los extremos de una comunicación. Estos pueden ser cualquier dispositivo que envíe o reciba información a través de una red. Esto incluye no solo teléfonos móviles, sino también computadoras, *tablets*, y otros dispositivos conectados a la red. Por lo tanto, se proponen tres variantes para realizar llamadas entre terminales de extremos:

- *Comunicación Softphone-Softphone (escenarios red móvil, Nauta-Hogar y zona pública wifi).* Se propone una llamada entre una *laptop* con una aplicación *Softphone* instalada, con un teléfono móvil igualmente conectado a una aplicación *Softphone*. Esta situación simula un entorno donde la comunicación de voz se transmite exclusivamente a través de paquetes de datos en una red IP, permitiendo evaluar la calidad del servicio en un contexto tecnológico homogéneo.

- *Comunicación Softphone-Red móvil tradicional (escenarios red móvil, Nauta-Hogar y zona pública wifi).* Se propone una llamada entre una *laptop* con una aplicación *Softphone* instalada, con un teléfono móvil conectado a la red móvil tradicional. Esto evalúa la interoperabilidad entre la red VoIP y la Red Móvil Pública Terrestre (*Public Land Mobile Network*, PLMN por sus siglas en inglés) a la que se conecta el dispositivo receptor. Este escenario plantea desafíos adicionales en términos de calidad y estabilidad de la comunicación.
- *Comunicación Softphone-Red Fija Tradicional (escenarios cliente residencial y zona pública wifi).* Se propone una llamada entre una *laptop* con una aplicación *Softphone* instalada, se comunica con un teléfono conectado a la red fija tradicional. Esto evalúa la interoperabilidad entre la red VoIP y la Red Telefónica Pública Conmutada (*Public Switched Telephone Network*, PSTN por sus siglas en inglés) a la que se conecta el dispositivo receptor. Este escenario plantea desafíos adicionales en términos de calidad y estabilidad de la comunicación.

En los escenarios de cliente residencial y zona pública wifi, es crucial identificar zonas de alta y baja congestión de usuarios para las pruebas de QoS, debido a las diferencias en la densidad de usuarios. En áreas con alta congestión, como los parques wifi, la gran demanda simultánea puede afectar la QoS, causando velocidades más lentas o interrupciones,

por lo que realizar pruebas en estas zonas es esencial para optimizar la red. En contraste, zonas con menor congestión, como las salas de navegación (Joven Club), enfrentan menos demanda debido al aumento de servicios Nauta-Hogar y datos móviles. En clientes residenciales, aunque hay menos usuarios, es clave evaluar la QoS durante las horas pico en el hogar.

En el escenario de la red móvil, es fundamental estudiar los entornos geográficos de medición para evaluar el rendimiento en distintas condiciones. Se deben priorizar áreas de alta demanda, como ciudades con centros sociales (hospitales, universidades, sitios turísticos), debido a su alta densidad de población y tráfico de datos y voz, lo que ofrece una visión representativa del rendimiento general de la red. Las mediciones se dividen en entornos interiores y exteriores, siendo ambos importantes. En interiores, el tráfico es alto por el uso doméstico, mientras que en exteriores se realizan pruebas estacionarias y en movimiento. Identificar áreas de mayor congestión es clave para seleccionar escenarios que reflejen las condiciones reales de la red y permitir una evaluación precisa del servicio VoIP.

Para realizar pruebas de QoS en redes VoIP de manera efectiva, es crucial considerar los requisitos de *hardware* y *software*. Los dispositivos de medición, como celulares y laptops, deben ser capaces de capturar y analizar el tráfico de VoIP de manera precisa y eficiente, compatibles con los protocolos de VoIP

y el volumen de tráfico esperado. Se propone el uso del *Softphone Zoiper* para generar y recibir llamadas VoIP, y de las herramientas *PCAPdroid* y *Wireshark* para la captura y análisis de tráfico. Además, los equipos utilizados deben contar con suficiente RAM, almacenamiento y capacidad de procesamiento para asegurar la precisión y eficiencia en las pruebas.

La inclusión de llamadas de diferentes duraciones en las pruebas de QoS de VoIP es esencial para evaluar con precisión el rendimiento de la red, ya que refleja el comportamiento real de los usuarios. Simular esta variabilidad permite una visión más completa del desempeño de la red, dado que problemas como la degradación del audio o la pérdida de paquetes afectan de manera distinta según la duración de las llamadas. Se recomienda que el operador proporcione datos sobre las duraciones más comunes de las llamadas basándose en el comportamiento de la red.

La distribución temporal de las mediciones es crucial para garantizar la validez y representatividad de los resultados de QoS. Las pruebas deben abarcar tanto momentos de alto como de bajo tráfico, especialmente en horas pico. Identificar horarios de congestión en la red móvil, zona pública wifi y clientes residenciales es clave para detectar cuellos de botella que afectan la calidad del servicio, como retrasos, pérdida de paquetes y degradación del rendimiento. Simular momentos de alta demanda

permite identificar estos puntos críticos y tomar medidas correctivas para optimizar la red. Las pruebas en horarios de mayor uso reflejan condiciones reales y anticipan problemas bajo estrés, mejorando la calidad del servicio y la experiencia del usuario. Si el servicio se comporta bien en estos periodos críticos, es probable que el rendimiento sea aceptable en momentos de menor demanda. Se propone enfocar las mediciones en los horarios de mayor congestión, incluyendo tanto días laborales como fines de semana, debido a las variaciones en la carga de la red. Las mediciones deben realizarse en intervalos de unos 20 minutos, para obtener una visión precisa y estadísticas confiables del desempeño de la red [10].

FASE 5: Análisis de los resultados y modo de presentación

El análisis posterior a las mediciones de QoS en redes VoIP sobre infraestructuras móviles, ADSL y wifi es un proceso crítico para la evaluación del desempeño del sistema. Este procedimiento debe comenzar con la recopilación y organización meticulosa de los datos obtenidos durante las pruebas de QoS, asegurando su accesibilidad y análisis, se propone el uso del *software* Excel para esta tarea.

Posteriormente, se realiza una comparación exhaustiva de los resultados con los estándares de QoS establecidos para servicios VoIP, identificando tanto áreas de conformidad como aquellas

que requieren mejoras. Para facilitar la interpretación de los resultados, se propone utilizar gráficos y otras visualizaciones que destaquen las características clave de los parámetros de QoS evaluados. Además, se propone realizar cálculos estadísticos, para detectar patrones promedios significativos en los datos. De esta manera, se proporciona una comprensión más clara de las variaciones en la calidad del servicio. De manera paralela, se debe llevar a cabo la identificación de patrones y tendencias en la calidad del servicio. Se recomienda analizar el rendimiento de la red por los diversos criterios tomados en cuenta en las mediciones como la duración de las llamadas y los entornos tanto interiores y exteriores.

El procedimiento propuesto se enfoca exclusivamente en la medición y evaluación de los parámetros de QoS, proporcionando una visión general del estado de la red. Los resultados obtenidos a partir de estas pruebas permitirán identificar si la red cumple con los umbrales establecidos.

Validación del procedimiento de medición y evaluación de qos en VoIP sobre la red móvil

En concordancia con el procedimiento propuesto, el objetivo principal de su ejecución es medir y evaluar la QoS de VoIP sobre las diferentes redes del proveedor; en este caso, la validación se realiza sobre la red móvil del operador de telecomunicaciones en un escenario de alto tráfico telefónico y otro con

tráfico medio. Esta evaluación se centrará en los parámetros fundamentales de rendimiento: *jitter*, latencia y pérdida de paquetes, los cuales proporcionarán una visión integral del comportamiento del servicio VoIP en la infraestructura móvil del operador.

La red en cuestión se estructura en capas: acceso, transporte, control y aplicación y emplea tecnologías avanzadas como Redes de Nueva Generación (*Next Generation Networks*, NGN por sus siglas en inglés) y Subsistema IP Multimedia (*IP Multimedia Subsystem*, IMS por sus siglas en inglés). Aunque las pruebas iniciales se realizarán en la red NGN, se prevé un enfoque futuro en la red IMS, debido a su capacidad de convergencia de servicios de datos, voz y multimedia en una única plataforma, lo que la convierte en un componente clave para el desarrollo y expansión del servicio VoIP. De manera específica, las mediciones se centrarán en la red LTE, dado que representa la tecnología móvil más extendida entre los clientes y cuenta con una vasta base de usuarios, lo que garantiza una muestra representativa para el análisis de la calidad del servicio.

El acceso al servicio VoIP se configuró utilizando la red de Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (*Multiprotocol Label Switching*, MPLS por sus siglas en inglés) para el enrutamiento del tráfico. El Protocolo de Inicio de Sesión (*Session Initiation Protocol*, SIP por sus siglas en inglés) y el *codec* G.711 son los elementos

empleados para la transmisión de voz, garantizando la compatibilidad con la infraestructura del operador y facilitando la evaluación de la QoS mediante herramientas de medición especializadas.

Las pruebas de QoS se realizarán en los puntos finales de la red, es decir, desde la perspectiva del usuario final, lo que permite un análisis más preciso del rendimiento real percibido por los usuarios. Para la ejecución de las pruebas se emplearán teléfonos móviles con el *Softphone Zoiper*, que permitirá el acceso al servicio VoIP, y la aplicación PCAPdroid, encargada de capturar el tráfico generado durante las llamadas. Posteriormente, los datos recogidos serán analizados mediante el *software* Wireshark en un ordenador, lo cual posibilitará un estudio detallado del comportamiento del tráfico VoIP. Se evaluarán dos casos representativos:

1. *Softphone-Softphone*: comunicación homogénea basada íntegramente en la conmutación de paquetes sobre la red móvil.
2. *Softphone-Red Móvil Tradicional*: comunicación híbrida entre la red móvil basada en paquetes y la red tradicional de conmutación de circuitos.

Las mediciones se llevarán a cabo en áreas de alta ocupación de la red móvil, específicamente en zonas urbanas de gran relevancia, identificadas por registrar altos niveles de congestión en horarios pico. Las llamadas de prueba tendrán duraciones de 1, 3 y 5 minutos,

y se realizarán tanto en días laborales como no laborales, con el fin de capturar variaciones en el comportamiento del tráfico durante los periodos de mayor demanda. Estas mediciones permitirán obtener una visión clara del rendimiento de la red y establecerán la base para futuras optimizaciones y mejoras del servicio VoIP.

Una vez concluidas las mediciones se continúa con el análisis de los resultados, se utilizan los términos de bueno, aceptable y malo para referirse a las llamadas. Una llamada se cataloga como buena cuando los tres parámetros a tener en cuenta: latencia, *jitter* y pérdida de paquete se encuentran dentro de los rangos buenos; una llamada aceptable es cuando los tres parámetros se encuentran dentro de los rangos aceptables; una llamada mala es cuando al menos uno de sus parámetros se encuentra dentro de rango de malo. Esto quiere decir que, aunque una llamada tenga una pérdida de paquetes menor que el 3% y un *jitter* menor que 30 ms, se considerará mala si su latencia pasa los 400 ms.

Resultados

Red móvil con alta ocupación

Resultados generales de las llamadas *Softphone-Softphone* (Figura I):

- La congestión es consistente durante los picos de tráfico, tanto en entornos interiores como exteriores, debido a la cantidad de usuarios co-

nectados a la red. Se afectan además la accesibilidad y estabilidad del servicio VoIP.

- De manera general, se evidencia un mal estado en cuanto a congestión en la red, reflejado en el hecho de que el 93% de las llamadas presentan parámetros de QoS fuera de los rangos aceptables. Estos resultados subrayan la urgente necesidad de implementar mecanismos avanzados de priorización de tráfico y gestión de colas para asegurar el despliegue eficiente de servicios sensibles y en tiempo real, como es el caso de la VoIP.

Resultados generales de las llamadas *Softphone-Red Tradicional* (Figura I):

- Revela una mejora general en los parámetros de calidad de servicio gracias a la integración con la red PLMN. Sin embargo, persisten desafíos como fluctuaciones en los parámetros durante diferentes horarios y dificultades en mantener un rendimiento estable durante llamadas largas. La congestión de la red sigue siendo un problema significativo, afectando la accesibilidad y estabilidad del servicio VoIP, tanto en entornos interiores como exteriores.
- El 52% de las llamadas presentan parámetros fuera de los rangos aceptables, lo que representa una disminución del 40% en con respecto a las llamadas *Softphone-Softphone*. Esto indica que hay una mayor probabilidad de mantener la calidad del

servicio una vez se implementen mecanismos de QoS en la red.

Red móvil con ocupación media

Resultados generales de las llamadas *Softphone-Softphone* (Figura II):

- Mientras que los entornos interiores muestran un desempeño aceptable con algunas limitaciones de los parámetros latencia y *jitter*, los entornos exteriores revelan un comportamiento empeorado, especialmente durante días laborables. La infraestructura de la red necesita mejoras para manejar la demanda en ambos entornos y horarios pico.
- El hecho de que el 66% de las llamadas presentan parámetros de QoS fuera de los rangos aceptables indica en términos generales, que la red se encuentra en un estado funcional pero no óptimo, es necesario implementar mecanismos avanzados de priorización de tráfico y gestión de colas para asegurar el despliegue eficiente de servicios sensibles como es el caso de la VoIP.

Resultados generales de las llamadas *Softphone-Red Tradicional* (Figura II):

- Este caso muestra resultados alentadores, reflejando una mejora notable en la calidad del servicio en entornos interiores gracias a la integración con la red PLMN. Sin embargo, en entornos exteriores y durante periodos de alta congestión en horarios pico, se revela la necesidad de

implementar mecanismos adicionales para mantener una calidad de servicio óptima.

- El hecho de que más del 60% de las llamadas presenten todos los parámetros de QoS dentro de los rangos aceptables, indica que es una opción prometedora para la futura generalización del servicio VoIP. No obstante, este porcentaje también sugiere que, aunque la mayoría de las llamadas cumplen con los estándares de calidad, hay un margen significativo para la mejora continua de la infraestructura y la gestión de la red, a fin de alcanzar condiciones óptimas de servicio.

Después de analizar los distintos casos dentro de cada zona de interés, se identificó una comparación clara entre los criterios que impactaron significativamente en la calidad del servicio durante las pruebas. En particular, el de las lla-

mas *Softphone*-Red Tradicional, que integra la comunicación de la red IP con la red PLMN, mostró una mejora notable en los parámetros de QoS, lo que resultó en una experiencia de llamadas más satisfactoria. La red PLMN, al ofrecer recursos dedicados durante las llamadas de voz, proporcionó una mayor estabilidad y calidad en comparación con las llamadas que dependían exclusivamente de la comunicación sobre IP.

Conclusiones

Como resultado del estudio de la QoS, su influencia sobre el servicio de VoIP y las pruebas realizadas podemos llegar a varias conclusiones importantes:

La evaluación de la QoS es clave para garantizar una experiencia confiable en las redes donde se despliega el servicio VoIP. Los indicadores clave de la calidad de las llamadas incluyen, la latencia, el *jitter* y la pérdida de paquetes.

Fig. 1. Resultados en la red móvil con alta ocupación.

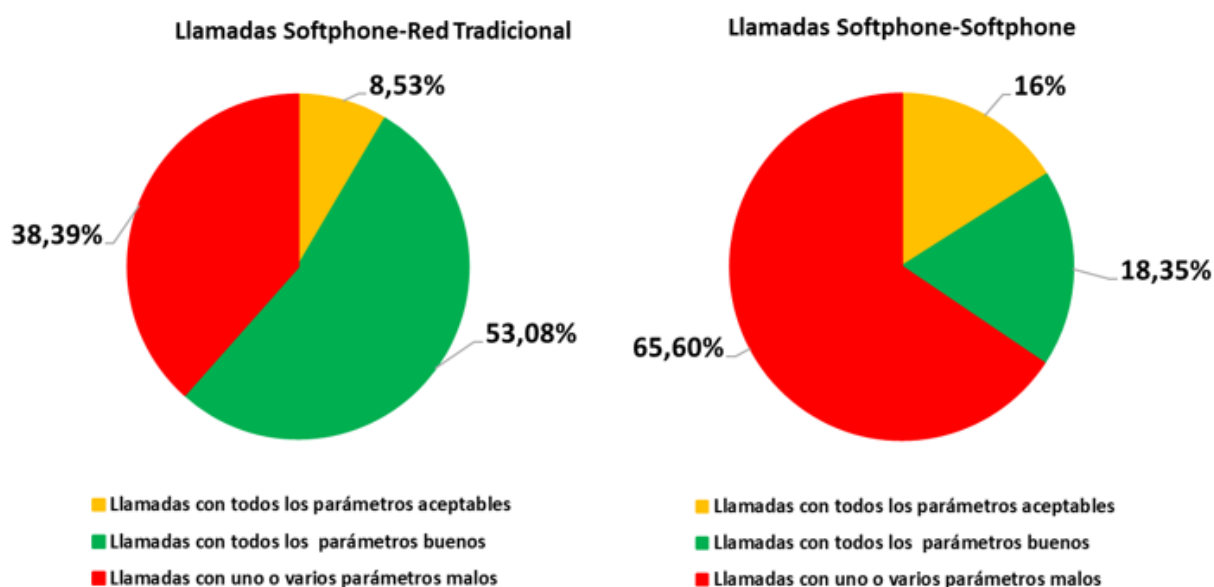
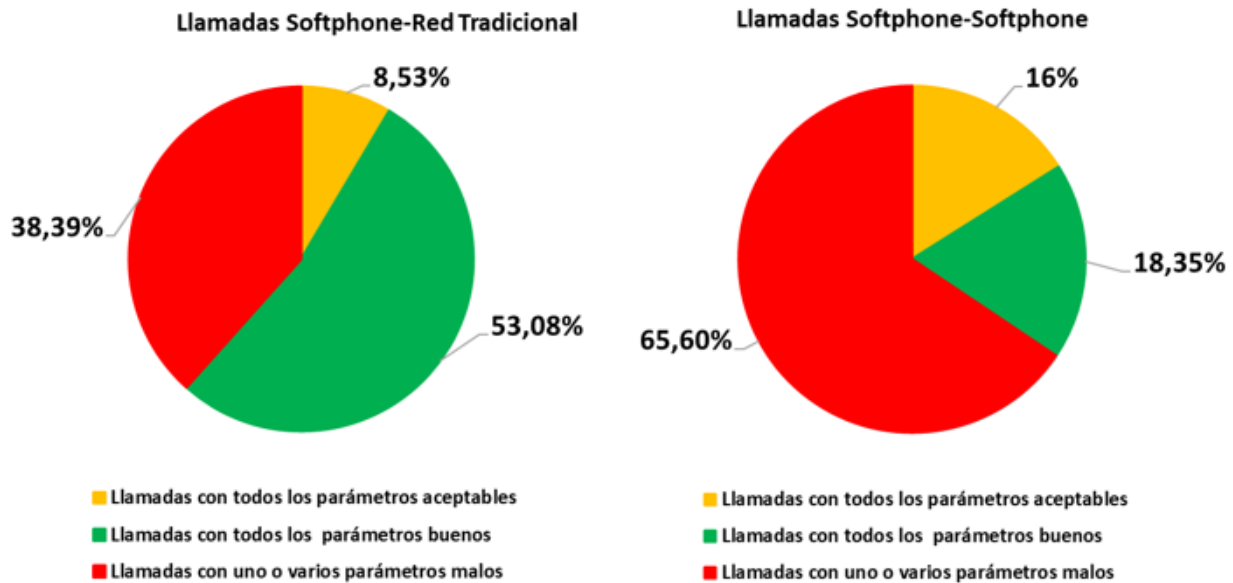


Fig. 2. Resultados en la red móvil con ocupación media.

El diseño de un procedimiento de pruebas para la medición y evaluación de la QoS es fundamental para la supervisión y mejora de la tecnología VoIP. Un procedimiento bien estructurado proporciona una visión detallada del rendimiento de la red, permite identificar y resolver problemas de manera eficaz, y contribuye a la optimización general del sistema.

El procedimiento propuesto e implementado consta de cinco fases todas con requisitos específicos que deben ser estudiados y puestos en práctica con determinado orden. Cada fase resulta de vital importancia y siembra las pautas para lograr resultados objetivos sobre el estado actual de la red.

El despliegue del procedimiento de medición y evaluación de QoS del servicio de VoIP sobre la red móvil, residencial y

zona pública wifi del operador de telecomunicaciones fue exitoso, arrojando resultados fieles a las características y comportamiento de la red.

El procedimiento diseñado para la medición y evaluación de la QoS tiene un alcance significativo debido a su aplicabilidad en diversas zonas y áreas del país. Esta amplia aplicabilidad se debe a que ha sido diseñado teniendo en cuenta una variedad de escenarios y condiciones de red, lo que permite su implementación en diferentes contextos geográficos y tecnológicos.

La posibilidad de generalización del procedimiento es una de sus fortalezas clave. Esto significa que, aunque se haya desarrollado y validado en contextos específicos, los principios y métodos que utiliza son lo suficientemente universales como para ser aplicados en una variedad de situaciones y entornos.

La aplicación del procedimiento ha arrojado resultados tanto positivos como negativos. Es imperativo trabajar con mecanismos de QoS en la red, aunque se hayan obtenido mediciones dentro de los rangos recomendables estas fluctúan y no son constantes.

Referencias

- [1] P. Biggs, "The status of voice over internet protocol (VoIP) world-wide." *International Telecommunication Union: The Future of Voice*, 2007.
- [2] D. J. Sánchez, "Diseño e implementación de una central telefónica Voip de bajo costo mediante Asterisk y Raspberry Pi para pequeñas o medianas empresas", Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Ciencias y Humanidades, Lima, Perú, 2021. [Online]. Disponible en: <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/647>
- [3] C. Johnson. "What Is VoIP? The Newbie's Guide to Voice over IP". Nextiva. Consultado: Nov. 3, 2023. [Online]. Disponible en: <https://www.nextiva.com/blog/what-is-voip.html>
- [4] N. Mojarrieta, "Monitoreo de la QoS de banda ancha en redes de acceso fijas", Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2019.
- [5] UIT-D, "Informe esencial sobre telefonía IP", UIT, 2003.
- [6] M. Taruk, E. Budiman, M. R. Rustam, H. Azis and H. J. Setyadi. (Nov. 2018). Quality of service voice over internet protocol in mobile instant messaging. Presentado en 2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIconCIT), Makassar, Indonesia. [Online]. Disponible en: 10.1109/EIconCIT.2018.8878574.
- [7] Recomendación G.1010: Categorías de calidad de servicio para los usuarios de extremo de servicios multimedia, UIT-T, Ginebra, Suiza, 2001, pp. 01-16. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-RECG.1010-200111-I/es>
- [8] Recomendación G.1028: Calidad de servicio de extremo a extremo para servicios vocales en redes móviles 4G, UIT-T, Ginebra, Suiza, 2019, pp. 01-47. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-RECG.1010-200111-I/es>
- [9] M. A. Vargas, "Lineamiento técnico para la provisión de Calidad de Servicio (QoS) extremo a extremo en interconexión bajo IP Multimedia Subsystem (IMS)", Ph.D. tesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2021. [Online]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80422>
- [10] Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 4: Internet access, ETSI, Niza, Francia, 2008, pp. 01-37. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_eg/202000_202099/20205704/01.02.01_60/eg_20205704v010201p.pdf