



**Análisis del desempeño de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre
un servidor remoto y sobre un servidor físico.**

Sigcha Morochz, Mario David

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

PhD. Acosta Buenaño, Freddy Roberto

3 de agosto del 2020



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis_Sigcha_Morochz_Mario_David.pdf (D77226187)
 Submitted: 7/27/2020 6:03:00 PM
 Submitted By: fracosta@espe.edu.ec
 Significance: 4 %

Sources included in the report:

Tesis - Timote Armijos.docx (D25063335)
 TESIS COMPLETA VOIP CON WEBRTC MAESTRIA Dannyll Michel.docx (D15871783)
 Trabajo_Titulacion_Jacome_Erika.pdf (D55787474)
 Diana Jalca.docx (D29766581)
https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html
<https://fccid.io/QISHG8245H/User-Manual/Product-Manual-1979681.pdf>
<https://gblogs.cisco.com/la/cl-jlinero-evaluando-migrar-la-telefonía-a-la-nube/>
<https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/cuanto-dura-una-llamada-promedio-de-celular-nid1737397>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12785/1/T-ESPE-053707.pdf>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11019/1/T-ESPE-049067.pdf>
<https://docplayer.es/5340927-Universidad-de-oriente-nucleo-de-sucre-escuela-de-ciencias-departamento-de-matematicas-programa-de-la-licenciatura-en-informatica.html>
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10655/PG-655-Mejia%20Flores%2C%20Heriberto%20Julio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4285/pfc5792.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instances where selected sources appear:

33

FREDDY ROBERTO ACOSTA BUENANO Firmado digitalmente por FREDDY ROBERTO ACOSTA BUENANO
 Fecha: 2020.08.03 10:32:58 -05'00'

.....
 PhD. Acosta Buenaño, Freddy Roberto

C.I. 1709439887

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis del desempeño de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico**” fue realizado por el señor **Sigcha Morochz, Mario David** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 3 de agosto del 2020

FREDDY ROBERTO ACOSTA BUENANO
Firmado digitalmente por
FREDDY ROBERTO ACOSTA
BUENANO
Fecha: 2020.08.03 10:32:15
-05'00'

.....
PhD. Acosta Buenaño, Freddy Roberto

C.I. 1709439887



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Sigcha Morochz, Mario David**, con cédula de ciudadanía 1751338912, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis del desempeño de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 3 de agosto del 2020

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Mario SM', is written over a horizontal dotted line.

Mario David Sigcha Morochz

C.I. 1751338912



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Sigcha Morochz, Mario David**, con cédula de ciudadanía 1751338912, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis del desempeño de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 3 de agosto del 2020

Mario David Sigcha Morochz

C.I. 1751338912

DEDICATORIA

A mi mami Carolina que siempre me brinda su amor, apoyo y aliento, en toda mi vida y en todos los momentos que tuve dentro de la Universidad.

A mi papá Mario que me brindó sus consejos para solucionar cualquier tipo de situación de la mejor manera.

A Roberta que siempre está conmigo, me da mucha alegría y cariño, siempre la llevo en mi corazón.

Para todos ustedes con mucho amor.

MARIO DAVID SIGCHA MOROCHZ

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios, por haberme brindado su bendición para poder culminar esta carrera universitaria.

A mi mami Carolina, siempre agradecido por brindarme su apoyo incondicional, gracias por todo el esfuerzo que hiciste para ayudarme a ser un excelente profesional.

A mi papá Mario gracias por brindarme grandes principios y valores para ser un hombre de bien.

Ing. Freddy muchas gracias por brindarme la oportunidad de realizar la tesis con usted y por brindarme sus conocimientos.

A todos mis amigos de la universidad por brindarme lindos momentos dentro de esta etapa de mi vida.

A mi querida Universidad muchas gracias por todas las experiencias vividas y a todos mis maestros que me brindaron sus conocimientos para llegar a ser un profesional exitoso.

Muchas Gracias por todo.

MARIO DAVID SIGCHA MOROCHZ

INDICE DE CONTENIDO

Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Indice de contenido	8
Indice de tablas	13
Indice de figuras	15
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I.....	21
Introducción.....	21
Antecedentes.....	21
Justificación e importancia	22
Alcance.....	23
Objetivos.....	25
Objetivo General	25
Objetivos Específicos	25
Organización del trabajo de titulación	25
Capítulo II.....	27
Marco teórico.....	27
Telefonía IP	27
Infraestructura de una Red de Telefonía IP	27

Componentes de una Red de Telefonía IP.....	28
Ventajas de la Telefonía IP	30
Desventajas de la Telefonía IP	32
Cloud Computing	32
Arquitectura de Cloud Computing.....	34
Servidor Físico vs Servidor Remoto.....	35
Asterisk.....	35
Introducción.....	35
Definición	36
Arquitectura.....	37
Protocolos de VoIP	39
Protocolo SIP	39
Protocolo IAX	40
Protocolo SCCP.....	40
Protocolo H.323.....	41
Protocolo MGCP	41
Protocolos de Transporte.....	41
Protocolo RTP	42
Protocolo RTCP	42
Códec	42
Códec G.711	43
Códec G.726	44
Códec G.729.....	44
Códec GSM.....	44
Códec ILBC.....	44

	10
Códec Speex.....	45
QoS para VoIP.....	45
Jitter	45
Latencia	46
Pérdida de Paquetes.....	46
Ancho de Banda.....	46
Umbral de Aceptación para VoIP	47
MOS.....	47
SIPp.....	49
WireShark.....	49
Capítulo III.....	50
Implementación de la central telefónica IP	50
Implementación sobre un Servidor Físico	50
Arquitectura.....	50
Descripción del Hardware	51
Instalación del Software Asterisk.....	54
Configuración Asterisk.....	55
Implementación sobre un Servidor Remoto	61
Arquitectura.....	61
Descripción del Software.....	62
Instalación del Software Asterisk.....	63
Configuración Asterisk.....	64
Capítulo IV	69
Evaluación de la central telefónica	69
Llamadas simultáneas considerando el ancho de banda	69

	11
Configuración de SIPp	71
Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor físico	73
Escenario con una Máquina Virtual para la generación de tráfico	76
Análisis QoS escenario con una Máquina Virtual para generar tráfico.....	78
Escenario con un Computador para la generación de tráfico	88
Análisis QoS del escenario con un Computador para la generación de tráfico	89
Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor remoto..	101
Escenario con un Computador para la generación de tráfico	101
Análisis QoS del escenario con un Computador para generación de tráfico..	103
Comparación de resultados del desempeño de la central telefónica implementada sobre un servidor físico y de la central telefónica implementada sobre un servidor remoto	110
Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor físico de forma subjetiva	112
Análisis QoE.....	113
Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor remoto de forma subjetiva	121
Análisis QoE.....	121
Comparación del análisis QoE de la central telefónica implementada sobre un servidor físico y de la central telefónica implementada sobre un servidor remoto.....	129
Comparación de resultados objetivos y subjetivos de las centrales telefónicas implementadas sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico.....	130
Capítulo V	132
Conclusiones y recomendaciones	132
Conclusiones	132

	12
Recomendaciones	135
Trabajos Futuros.....	136
Bibliografía	137
Anexos	141

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de Códec y su ancho de banda</i>	43
Tabla 2 <i>Umbral de Aceptación para VoIP</i>	47
Tabla 3 <i>Calificación MOS</i>	48
Tabla 4 <i>Parámetros de QoS y MOS</i>	48
Tabla 5 <i>Características técnicas del router EchoLife HG8245H</i>	53
Tabla 6 <i>Características físicas del router EchoLife HG8245H</i>	53
Tabla 7 <i>Requerimientos mínimos para implementar una central telefónica Asterisk</i>	63
Tabla 8 <i>Consumo del CPU en el servidor físico dentro del primer escenario</i>	77
Tabla 9 <i>Consumo de Memoria RAM en el servidor físico dentro del primer escenario</i>	77
Tabla 10 <i>Análisis de QoS con 10 llamadas simultáneas</i>	79
Tabla 11 <i>Análisis de QoS con 50 llamadas simultáneas</i>	82
Tabla 12 <i>Análisis de QoS con 120 llamadas simultáneas</i>	84
Tabla 13 <i>Análisis de QoS con 150 llamadas simultáneas</i>	86
Tabla 14 <i>Consumo del CPU en el servidor físico dentro del segundo escenario</i>	88
Tabla 15 <i>Consumo Memoria RAM en el servidor físico dentro del segundo escenario</i>	89
Tabla 16 <i>Análisis de QoS con 10 llamadas simultáneas</i>	91
Tabla 17 <i>Análisis de QoS con 50 llamadas simultáneas</i>	93
Tabla 18 <i>Análisis de QoS con 90 llamadas simultáneas</i>	96
Tabla 19 <i>Análisis de QoS con 120 llamadas simultáneas</i>	99
Tabla 20 <i>Consumo del CPU en el servidor remoto</i>	102
Tabla 21 <i>Consumo de Memoria RAM en el servidor remoto</i>	102
Tabla 22 <i>Análisis de QoS con 10 llamadas simultáneas</i>	105
Tabla 23 <i>Análisis de QoS con 50 llamadas simultáneas</i>	107

Tabla 24 <i>Análisis de QoS con 120 llamadas simultáneas</i>	108
Tabla 25 <i>Análisis de QoS con 150 llamadas simultáneas</i>	110
Tabla 26 <i>Comparación de resultados del desempeño de las centrales telefónicas</i>	111
Tabla 27 <i>Escenarios de prueba para análisis de QoE</i>	112
Tabla 28 <i>Comparación del QoE de la central telefónica en el servidor físico</i>	120
Tabla 29 <i>Comparación del QoE de la central telefónica en el servidor remoto</i>	128
Tabla 30 <i>Comparación del QoE de la central telefónica entre ambos servidores</i>	129
Tabla 31 <i>Comparación del QoS y QoE de las centrales telefónica implementadas sobre</i> <i>Tabla 31 ambos servidores</i>	131

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Infraestructura de una red de Telefonía IP</i>	28
Figura 2 <i>Arquitectura de Cloud Computing</i>	35
Figura 3 <i>Características de Asterisk</i>	37
Figura 4 <i>Estructura modular de Asterisk</i>	38
Figura 5 <i>Arquitectura del Sistema de VoIP sobre un servidor físico</i>	50
Figura 6 <i>Computador con dos tipos de SO</i>	51
Figura 7 <i>Router EchoLife HG8245H</i>	52
Figura 8 <i>Versión instalada de Asterisk en el servidor físico</i>	54
Figura 9 <i>Archivos de Configuración de Asterisk</i>	56
Figura 10 <i>Configuración del archivo sip.conf</i>	57
Figura 11 <i>Configuración del archivo extensions.conf</i>	60
Figura 12 <i>Arquitectura del Sistema de VoIP sobre un servidor remoto</i>	61
Figura 13 <i>Versión instalada de Asterisk en el servidor remoto</i>	64
Figura 14 <i>Configuración del archivo sip.conf</i>	64
Figura 15 <i>Configuración de red del servidor remoto</i>	66
Figura 16 <i>Resultado del comando ifconfig dentro del servidor remoto</i>	66
Figura 17 <i>Configuración del archivo extensions.conf</i>	67
Figura 18 <i>Configuración del archivo rtp.conf</i>	67
Figura 19 <i>Configuración de Reglas de puertos de entrada dentro del servidor remoto</i>	68
Figura 20 <i>Estructura del códec G.711</i>	70
Figura 21 <i>Configuración de la extensión SIPp en sip.conf</i>	71
Figura 22 <i>Configuración de la extensión SIPp en extensions.conf</i>	72
Figura 23 <i>Resultados de generación de 45 llamadas simultáneas</i>	74

Figura 24 Estadísticas de generación de 45 llamadas simultáneas.	75
Figura 25 Porcentaje de consumo de CPU y Memoria.	76
Figura 26 Tráfico RTP y TCP con 10 llamadas simultáneas.	78
Figura 27 Análisis de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.	79
Figura 28 Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.	80
Figura 29 Tráfico RTP y TCP con 50 llamadas simultáneas.	81
Figura 30 Análisis de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.	81
Figura 31 Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.	82
Figura 32 Tráfico RTP y TCP con 120 llamadas simultáneas.	83
Figura 33 Análisis de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.	83
Figura 34 Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.	85
Figura 35 Tráfico RTP y TCP con 150 llamadas simultáneas.	85
Figura 36 Análisis de la llamada entre terminales durante las 150 generadas.	86
Figura 37 Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 150 generadas.	87
Figura 38 Tráfico RTP y TCP con 10 llamadas simultáneas.	90
Figura 39 Análisis de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.	90
Figura 40 Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.	91
Figura 41 Tráfico RTP y TCP con 50 llamadas simultáneas.	92
Figura 42 Análisis de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.	93
Figura 43 Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.	94
Figura 44 Tráfico RTP y TCP con 90 llamadas simultáneas.	95
Figura 45 Análisis de la llamada entre terminales durante las 90 generadas.	95
Figura 46 Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 90 generadas.	97
Figura 47 Tráfico RTP y TCP con 120 llamadas simultáneas.	97
Figura 48 Análisis de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.	98

Figura 49 <i>Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.</i>	100
Figura 50 <i>Porcentaje de consumo de CPU en el servidor remoto.....</i>	101
Figura 51 <i>Habilitación de puertos con el protocolo ICMP dentro del servidor remoto. .</i>	103
Figura 52 <i>Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.</i>	
Figura 52.....	104
Figura 53 <i>Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.</i>	
Figura 53.....	105
Figura 54 <i>Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.</i>	
Figura 54.....	106
Figura 55 <i>Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.</i>	
Figura 55.....	106
Figura 56 <i>Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 120</i>	
<i>Figura 56 generadas.</i>	107
Figura 57 <i>Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 120</i>	
<i>Figura 57 generadas.</i>	108
Figura 58 <i>Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 150</i>	
<i>Figura 58 generadas.</i>	109
Figura 59 <i>Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 150</i>	
<i>Figura 59 generadas.</i>	109
Figura 60 <i>Resultados de la evaluación MOS del primer escenario.....</i>	114
Figura 61 <i>Resultados de la evaluación MOS del segundo escenario.</i>	115
Figura 62 <i>Resultados de la evaluación MOS del tercer escenario.....</i>	116
Figura 63 <i>Resultados de la evaluación MOS del cuarto escenario.</i>	117
Figura 64 <i>Resultados de la evaluación MOS del quinto escenario.</i>	119
Figura 65 <i>Resultados de la evaluación MOS del primer escenario.....</i>	121

Figura 66 <i>Resultados de la evaluación MOS del segundo escenario.</i>	123
Figura 67 <i>Resultados de la evaluación MOS del tercer escenario.</i>	124
Figura 68 <i>Resultados de la evaluación MOS del cuarto escenario.</i>	125
Figura 69 <i>Resultados de la evaluación MOS del quinto escenario.</i>	127

RESUMEN

En el proyecto de investigación se realizó un análisis del desempeño comparativo de un sistema de VoIP (*Voice over Internet Protocol*) Asterisk implementado sobre un servidor físico y sobre un servidor remoto. Este estudio permitió determinar las ventajas y desventajas de ambos sistemas, y así conocer qué tipo de servidor se debe utilizar en la implementación de una central telefónica dependiendo del escenario que se presente. En primer lugar, el sistema de VoIP implementado sobre un servidor físico consta de un computador, que contiene una central telefónica Asterisk implementada sobre un Sistema Operativo Ubuntu (Linux) y los terminales en una red local. Los terminales pueden registrarse en la central telefónica cuando se hayan conectado a la red y a través de una IP privada de dicha red. En segundo lugar, el sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto está compuesto por un servidor en la nube que contiene, al igual que el servidor físico, Ubuntu con Asterisk y los terminales en una red local. Los usuarios se pueden registrar en la central telefónica a través de la IP pública que ofrece el servidor. Finalmente, la evaluación del desempeño del sistema de VoIP Asterisk implementado sobre ambos servidores se realizó de forma objetiva y subjetiva. La primera a través de software libre como SIPp y Wireshark que permiten analizar métricas de calidad de servicio de las llamadas tales como jitter, latencia, pérdida de paquetes, ancho de banda y umbrales aceptables de VoIP. La segunda utilizando el MOS (*Mean Opinion Score*).

PALABRAS CLAVE

- **VOIP**
- **ASTERISK**
- **CENTRAL TELEFÓNICA**

ABSTRACT

In the research project, an analysis of the comparative performance of an Asterisk VoIP (Voice over Internet Protocol) system implemented on a physical server and on a remote server was carried out. This study allowed to determine the advantages and disadvantages of both systems, and thus to know what type of server should be used in the implementation of a telephone exchange depending on the scenario presented. First, the VoIP system implemented on a physical server consists of a computer, which contains an Asterisk telephone exchange implemented on an Ubuntu Operating System (Linux) and the terminals on a local network. Terminals can register in the telephone exchange when they have connected to the network and through a private IP of said network. Secondly, the VoIP system implemented on a remote server is made up of a cloud server that contains, like the physical server, Ubuntu with Asterisk and the terminals on a local network. Users can register in the telephone exchange through the public IP offered by the server. Finally, the evaluation of the performance of the Asterisk VoIP system implemented on both servers was carried out objectively and subjectively. The first through free software such as SIPp and Wireshark that allow metrics to analyze QoS of calls such as jitter, latency, packet loss, bandwidth and acceptable VoIP thresholds. The second using the MOS (Mean Opinion Score).

KEYWORDS

- **VOIP**
- **ASTERISK**
- **TELEPHONE EXCHANGE**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Debido a la constante evolución de la tecnología y al avance en las redes de comunicación, la telefonía analógica ha sido reemplazada por la telefonía IP que utiliza la tecnología VoIP (*Voice over Internet Protocol*) y permite la convergencia dentro de la red, es decir, la transmisión de datos y de voz a través de la misma red IP, lo que provoca un mejor desempeño en los procesos de cualquier tipo de empresa, gracias a este cambio por diversos sectores de las telecomunicaciones, han surgido varias herramientas que utilizan dicha tecnología, una de ellas es Asterisk que es un software libre capaz de convertir a un computador en una PBX (*Private Branch eXchange*), es decir una central telefónica privada, que permite la conectividad en tiempo real entre redes PSTN (*Public Switched Telephone Network*) y redes de VoIP o únicamente entre redes de VoIP.

La eficiencia que brinda la telefonía IP se refleja en los siguientes casos, las empresas que cambian la telefonía fija por telefonía IP o VoIP ahorran entre 50% y 70% de los costos mensuales destinados a dicho servicio, el mercado de servicios globales de VoIP aumentó de 83 mil millones de dólares en 2015 a 140 mil millones de dólares para 2021, debido al crecimiento de la telefonía IP las empresas proveedoras de telefonía fija pierden un promedio de 700.000 clientes mensualmente (Tandel & Rughani, 2017).

1.2. Justificación e importancia

Dentro de la industria, las comunicaciones de bajo costo económico son esenciales dentro del modelo de negocio de cualquier empresa, aunque existan nuevos servicios de comunicación cada vez más complejos debido a la gran evolución tecnológica, la voz ha sido y es el servicio más importante, la voz generalmente se ha basado en conmutación de circuitos pero a medida que la red ha evolucionado se trabaja con conmutación por paquetes, lo que hace costoso e innecesario el tener una sola red para implementar únicamente servicios de voz, la integración de toda la información en una red que trabaje con conmutación de paquetes es mucho más eficiente y rentable, lo que nos lleva a la VoIP que es un servicio orientado a la voz, en donde la voz se transmite a través de redes IP (Verkasalo, 2006).

Las centrales telefónicas de VoIP pueden ser implementadas sobre servidores físicos o servidores remotos es decir servidores que se encuentran en la nube, el disponer de una central telefónica de VoIP dentro de una empresa o institución, además de brindar comunicación entre usuarios de la misma red o con usuarios de redes externas e incluso con telefonía analógica, también se puede tener servicios de video llamadas y mensajería instantánea, una empresa que tiene una central telefónica implementada sobre un servidor remoto no tiene la necesidad de comprar, instalar y brindar mantenimiento a los equipos necesarios, al contrario de una central telefónica implementada sobre un servidor físico el cual necesita equipos físicos y un mantenimiento anual para garantizar un buen desempeño (Armijos, 2017).

El requerimiento de utilizar centrales telefónicas de VoIP ya sea en servidores remotos o físicos en cualquier tipo de empresa ya sea pequeña, mediana o grande es que brinda gran cantidad de beneficios como facilidad de integración, ahorro de costos,

flexibilidad, productividad y administración de red consolidada (Sacker, Santaiti, & Spence, 2006).

Es por esto que el presente proyecto de investigación busca guiar en la decisión sobre el tipo de servidor a utilizar dependiendo del escenario que se presente, a través de un análisis del desempeño de la central telefónica sobre dos tipos de servidores y su posterior comparación, para determinar las principales ventajas y desventajas de ambos tipos de sistemas en configuración, mantenimiento e implementación. Dentro de este análisis se utilizó un sistema de alta gama que usualmente se utiliza dentro de la industria, el cual es un computador de última generación como servidor físico a diferencia de trabajos previos donde se realiza el análisis sobre tarjetas de desarrollo o de bajo costo. Se utilizó una plataforma que brinda servicios de Cloud Computing para la implementación del servidor remoto, el cual va a contener un sistema operativo Ubuntu y a su vez va a tener instalada la central telefónica Asterisk.

1.3. Alcance

Con el presente proyecto de investigación se espera obtener un análisis del desempeño comparativo de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico, para determinar las ventajas, desventajas y la arquitectura de la central telefónica implementada sobre cada uno de los servidores que se utilizó.

Para la evaluación del sistema de VoIP Asterisk implementada sobre ambos tipos de servidores se utilizó las herramientas proporcionadas por Ubuntu y Asterisk como las llamadas entre usuarios, estadísticas de las llamadas, la limitación del ancho de banda de la red, entre otros. También software libre como SIPp y Wireshark, que permiten simular varias llamadas simultáneas con una duración determinada y analizar las

métricas de rendimiento como jitter, latencia, pérdida de paquetes, eco, ancho de banda y umbrales aceptables de VoIP. Por último para la evaluación de la calidad de experiencia del usuario, QoE (*Quality of Service*), se utilizó llamadas reales y el análisis del MOS (*Mean Opinion Score*) que se encuentra directamente relacionadas. El análisis de estos tipos de sistemas permiten obtener una idea más clara y concisa del tipo de arquitectura que se necesita para poder administrar una red telefónica de manera más eficiente y mejorar el rendimiento de la empresa o institución.

Los trabajos realizados que tienen relación con el presente proyecto de investigación son “Estudio de Factibilidad de la utilidad Asterisk en placas Alix” (Villacis, 2011) que determina las capacidades de la tarjeta Alix para manejar VoIP sobre enlaces inalámbricos con un servidor Asterisk, y también el trabajo titulado “Evaluación de un prototipo de central Asterisk implementado sobre la tarjeta Raspberry Pi” (Chávez & Saltos, 2015) donde se implementó y evaluó un prototipo de central Asterisk sobre 4 tarjetas Raspberry Pi, la principal diferencia de los trabajos citados con el presente proyecto de investigación es el tipo de servidor físico que se utilizó para la implementación de la central telefónica Asterisk, ya que no se utilizó placas de desarrollo o placas de bajo costo si no un computador de mayor capacidad, también se encuentra el trabajo titulado “Implementación y análisis de un sistema de VoIP mediante Cloud Computing con integración WebRTC” (Armijos, 2017) donde se implementó y evaluó un sistema VoIP en la nube, la diferencia con el trabajo citado es que no se utilizará la tecnología WebRTC para la comunicación entre usuarios de la central telefónica sino que se utilizó softphones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar el desempeño de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar, analizar y comparar la arquitectura, ventajas y desventajas de un sistema de telefonía IP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y físico.
- Investigar el funcionamiento de todos los protocolos de VoIP que puede ser utilizados en diferentes tipos de servidores.
- Implementar una central telefónica Asterisk sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico.
- Comparar el desempeño del sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico en función de las métricas de rendimiento de forma objetiva y subjetiva.

1.5. Organización del trabajo de titulación

En el Capítulo 1 se presenta la Introducción del presente trabajo de titulación que contiene los Antecedentes, Justificación e Importancia, Alcance y Objetivos. El Capítulo II es el Marco Teórico del proyecto el cual abarca todos los conceptos de Telefonía IP su infraestructura, componentes, ventajas, desventajas y calidad de servicio, también el funcionamiento de Asterisk y de los códec con los que puede trabajar. El Capítulo III del documento presenta la implementación de una central telefónica Asterisk sobre un servidor físico y la implementación de una central telefónica Asterisk sobre un servidor remoto, también se detallan las configuraciones necesarias de cada una de las

centrales para un correcto funcionamiento. En el Capítulo IV se encuentra la Evaluación de las dos centrales telefónicas de forma objetiva con un análisis del QoS y de forma subjetiva con un análisis QoE y la comparación de los mismos. Por último, el Capítulo V presenta las Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros que genera el trabajo de titulación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Telefonía IP

La telefonía tradicional utiliza conmutación de circuitos a diferencia de la telefonía IP que utiliza conmutación de paquetes y que trabaja bajo la tecnología VoIP, esto indica que la información o la voz se digitaliza, comprime y se encapsula para ser transmitida a través de redes de datos o redes IP LAN (*Local Area Network*) o WAN (*Wide Area Network*) en forma de paquete de datos para brindar servicios de transmisión de voz, produciendo un ahorro significativo en el gasto de llamadas de larga distancia nacional o internacional (Carmona, 2014).

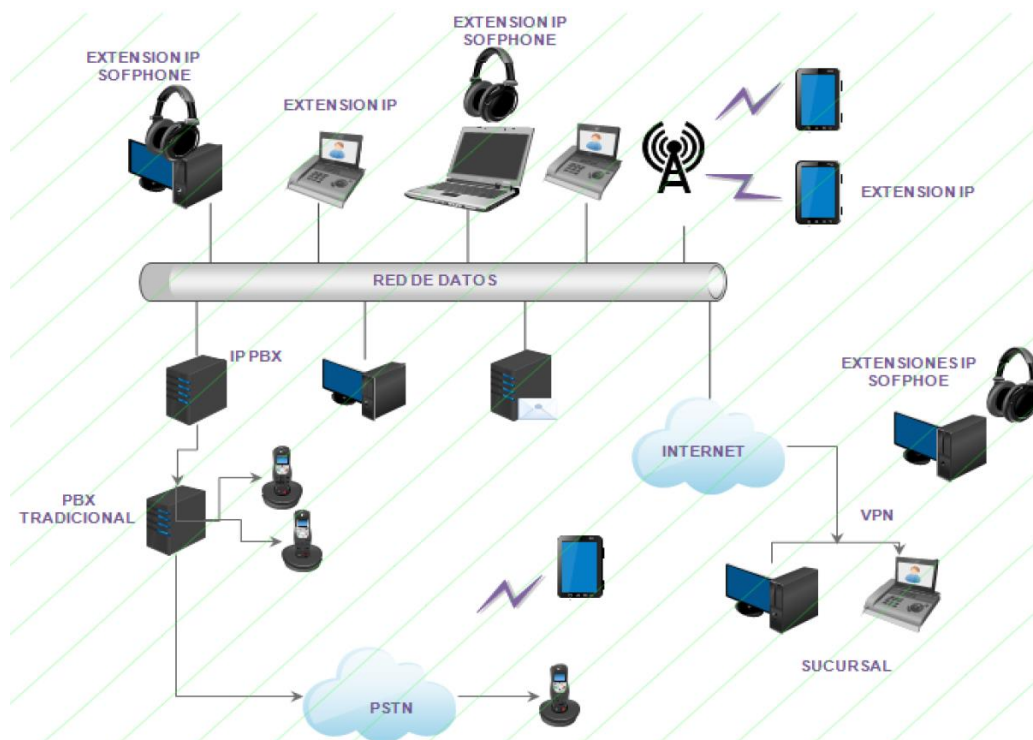
La Telefonía IP es un importante desarrollo tecnológico que actualmente tiene un alto grado de aceptación por muchas empresas, una de las principales razones para que exista dicha aceptación es la facilidad de integrar todos los medios de comunicación, dispositivos de comunicación y servicios dentro de una misma red, convirtiéndola en una sola red de voz y datos, dicha red convergente brinda grandes ventajas como menor costo de mantenimiento de equipos, soporte y configuración simples y una mayor integración de ubicaciones remotas (Caldera & Suazo, 2011).

2.1.1. Infraestructura de una Red de Telefonía IP

Uno de los beneficios que brinda la Telefonía IP es su Arquitectura, dicha arquitectura trabaja de la misma manera que Internet. En la Figura 1 se muestra la Infraestructura de una Red Corporativa de Telefonía IP.

Figura 1

Infraestructura de una red de Telefonía IP.



Nota. Tomado de *Evaluación de un prototipo de central Asterisk implementado sobre la tarjeta Raspberry PI*, por Chávez M. & Saltos D., 2015, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

2.1.2. Componentes de una Red de Telefonía IP

Dentro de una Red de Telefonía IP existen elementos fundamentales los cuales se describen a continuación.

2.1.2.1. Terminales

Son los puntos terminales de la comunicación que permiten realizar y recibir llamadas de los usuarios, se encargan de codificar y empaquetar la voz en el emisor y realizar el proceso inverso en el receptor (Armijos, 2017). Los terminales pueden implementarse mediante hardware o software.

- **Hardware:** Es un teléfono IP que tiene soporte para VoIP nativo y puede conectarse directamente a una red IP o puede ser un teléfono analógico conectado a un adaptador el cual permite la comunicación entre una red PSTN y una red de VoIP.
- **Software:** Es un softphone el cual es un teléfono implementado por software, estos proporcionan a un dispositivo las funcionalidades de un teléfono de VoIP, pueden ser instalados en un computador o en un smartphone.

2.1.2.2. Servidor o Central Telefónica

Es el centro de toda la organización de VoIP se encarga de controlar todo el procesamiento de las llamas realizadas por los usuarios, gestiona toda la comunicación, provee control sobre los servicios o recursos de la red y también es encargado del enrutamiento de llamadas a través de la red. Dentro de una central telefónica IP cada usuario cuenta con su propia extensión IP y a través de esta puede hacer uso de todas las funciones que brinda el sistema como realizar llamadas internas, es decir únicamente dentro de la empresa o externas ya sea a una red de telefonía tradicional o a otra central de telefonía IP, mensajería y buzón de voz.

Una central telefónica IP puede estar basadas en un hardware o en un software, la principal diferencia es que en la versión basada en un hardware el nivel de procesamiento de datos y velocidad en las comunicaciones son más rápidas debido a que sus componentes son fabricados exclusivamente para cumplir una función definida mientras que la versión basada en un software utiliza procesos virtuales (Soto, 2017).

2.1.2.3. Gateway

Este dispositivo es el encargado de conectar la red de telefonía IP con otro tipo de redes como redes basadas en protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*), PSTN o a una RDSI (*Red Digital de Servicios Integrados*). El Gateway realiza la conversión entre los diferentes formatos de transmisión y procedimientos de comunicación (Vaca, 2008), también se los conoce como ATA (*Adaptador Telefónico Analógico*). Permite interfaces de conexión como:

- **FXO (Foreing Exchange Office):** Permite la conexión a extensiones de centrales telefónicas privadas o a la red telefónica tradicional.
- **FXS (Foreing Exchange Station):** Permite la conexión de un teléfono a un computador.
- **E&M:** Conexión de PBXs entre sí, mediante troncales de telefonía tradicional.
- **BRI (Basic Rate Interface) y PRI (Primary Rate Interface):** Utilizados para acceso básico RDSI.

2.1.3. Ventajas de la Telefonía IP

- La telefonía IP ahorra costos en la empresa o institución en la que se encuentre implementada ya que no utiliza la red telefónica tradicional y únicamente utiliza Internet como medio de transporte, es decir, que el único gasto que se tiene es la mensualidad al proveedor o ISP (*Internet Service Provider*), si dicho proveedor tiene una buena velocidad se tendrá una buena calidad en las llamadas de VoIP.
- Además la instalación de centrales telefónicas IP y el uso de programas softphone facilita la adaptación de la tecnología VoIP reduciendo los costos de inversión.

- Las llamadas telefónicas donde participan un grupo de personas o también denominada conferencia es una gran ventaja que presta la telefonía IP, ya que la telefonía tradicional únicamente presta el servicio para que dos personas se comuniquen y la telefonía IP comprime los paquetes durante la transmisión permitiendo una transmisión de datos mayor y por ende una llamada tipo conferencia (López Gómez & Montoya Gil, 2014).
- Debido a que la telefonía IP está basada en conmutación de paquetes, puede transmitir otro tipo de datos además de la voz, como imágenes, video, o texto y la voz a la vez, es decir, que utiliza una red convergente, un ejemplo de este tipo de transmisión es la video conferencia, mensajería instantánea e intercambio de datos (Pazmiño, 2020).
- La telefonía IP brinda movilidad a los usuarios dentro o fuera de su empresa o institución, ya que dentro de la empresa a través de un AP (*Access Point*) dichos usuarios pueden conectarse a la red empresarial con sus teléfonos móviles o smartphone y con una aplicación de VoIP que transforme el teléfono en un softphone pueden recibir y realizar llamadas fuera de su estación de trabajo (Chávez & Saltos, 2015). Además los trabajadores que se desplazan frecuentemente puede disponer de su extensión en cualquier parte del mundo con una conexión a internet.
- La infraestructura de la telefonía IP es escalable y muy flexible, debido a que en la instalación de una central telefónica IP se puede utilizar la infraestructura de red ya implementada dentro de la empresa, la configuración y reconfiguración de la central telefónica se realizará según el crecimiento de usuarios y a su vez el de extensiones.

- Con el uso de la telefonía IP se elimina el costoso cableado de cobre que se utiliza con la telefonía tradicional para las comunicaciones, debido a que es posible conectar teléfonos IP directamente a un puerto Ethernet y en el caso de softphones únicamente se deben conectar a la red IP inalámbricamente.

2.1.4. Desventajas de la Telefonía IP

- La telefonía IP requiere de una conexión de banda ancha debido a que la voz viaja en forma de paquetes y pueden existir pérdida de paquetes o información y retrasos en la transmisión.
- La tecnología que utiliza la telefonía IP, es decir, VoIP es susceptible a virus, gusanos y hacking, comúnmente este tipo de ataques no se presentan pero la solución a esta desventaja es la encriptación de todas las comunicaciones.
- Dentro de la telefonía IP se utiliza direcciones IP para identificar un número telefónico y no es posible relacionar una dirección IP con el número de emergencia como el 911.
- En caso de un corte de energía eléctrica los servicios de la Telefonía IP se suspenderán a diferencia de la telefonía convencional que seguirá funcionando.
- El uso de softphones depende del computador en donde se instaló, si este no tiene una capacidad computacional considerable o un programa consume el 100% del CPU la comunicación por VoIP será afectada (Caldera & Suazo, 2011).

2.2. Cloud Computing

Debido al rápido desarrollo de la tecnología de procesamiento, almacenamiento y la de Internet, los recursos informáticos son más económicos, más potentes y se encuentran disponible en cualquier parte del mundo. Esta tendencia tecnológica generó

un nuevo modelo de computación denominado Computación en la Nube (*Cloud Computing*), en el que los recursos, como CPU y almacenamiento, se proporcionan como utilidades que los usuarios pueden arrendar a través de internet. Dentro de Cloud Computing existen dos tipos de proveedores, los proveedores de infraestructura administran la plataforma en la nube y arriendan recursos y los proveedores de servicio que rentan sus servicios a los usuarios.

La aparición de Cloud Computing ha tenido un gran impacto en la industria de las TI (*Tecnología de la Información*), donde grandes empresas como Google, Amazon y Microsoft ofrecen diferentes beneficios como reducción de costos operativos según se presente la demanda de servicios, una infraestructura altamente escalable, fácil acceso a las actualizaciones más recientes de la telefonía o a las de cualquier otro servicio, no es obligación realizar una inversión inicial ya que se define un servicio y se paga un monto mensualmente y por último la implementación es sencilla ya que no es necesario de una infraestructura centralizada con gran cantidad de equipos donde cada uno de ellos necesitan de una configuración y un tiempo de pruebas para que trabajen de forma estable por ende existe reducción en los gastos de mantenimiento (Zhang, Cheng, & Boutaba, 2010), (Lineró, 2020).

La eficiencia que brinda el Cloud Computing se aprecian de mejor manera con las siguientes estadísticas, para el 2021 el 90% de los gerentes y directores de TI no comprarán infraestructura únicamente para un data center, lo que indica que utilizarán la infraestructura de la nube, esto es una tendencia que cobra cada vez más fuerza, también se conoce que del 80% al 90% de las empresas utilizan por lo menos un proveedor de servicios en la nube y el 54% de las empresas han trasladado en parte o en su totalidad su telefonía empresarial a la nube y el 31% planea mudarse a la nube en los próximos dos años (Cisco, Prepara tu negocio para el futuro, 2020).

2.2.1. Arquitectura de Cloud Computing

La Arquitectura de Cloud Computing consta de las capas de Hardware, Infraestructura, Plataforma y Aplicación que se describen a continuación.

La Capa de Hardware se encarga de administrar los recursos físicos de la nube, como los servidores físicos, routers, switches, enfriamiento y fuentes de alimentación, dicha capa se implementa en la data center donde se encuentran todos los equipos mencionados.

La Capa de Infraestructura también denominada capa de virtualización, crea un conjunto de recursos de almacenamiento y computación para los clientes o usuarios finales a través de tecnologías de virtualización como VMware, esta capa es de suma importancia dentro de Cloud Computing debido a que realiza la asignación dinámica de recursos a los usuarios.

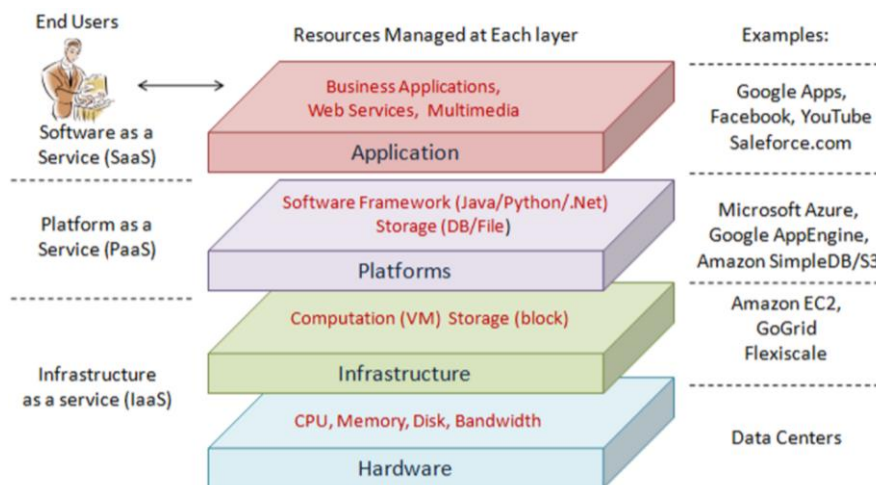
La Capa de Plataforma está construida sobre la capa de Infraestructura y se encarga de dar acceso a un entorno en la nube en donde los usuarios pueden crear y distribuir aplicaciones sin descargar e instalar algún tipo de software por parte de los desarrolladores de las aplicaciones.

La Capa de Aplicación es la última capa de la arquitectura, aquí se encuentran las aplicaciones en la nube destinadas a los usuarios, la ventaja de aplicaciones en la nube a diferencia de aplicaciones tradicionales es que tienen la función de escala automática para lograr un mejor rendimiento, disponibilidad y un menor costo operativo (Zhang, Cheng, & Boutaba, 2010).

En la Figura 2 se muestra la arquitectura de Cloud Computing.

Figura 2

Arquitectura de Cloud Computing.



Nota. Tomado de *Cloud Computing: state-of-the-art and research challenges*, por Zhang Q., Cheng L., & Boutaba R., 2010, Journal of Internet services and applications.

2.3. Servidor Físico vs Servidor Remoto

Los servidores son equipos informáticos que brinda un servicio en la red, los servidores físicos tienen hardware dedicado, es decir, que son utilizados para brindar un servicio determinado y los servidores remotos son servidores virtuales que también brinda un servicio determinado, pero se encuentran en la nube.

2.4. Asterisk

2.4.1. Introducción

Dentro del mercado de la Telefonía IP, manejo y solución de las telecomunicaciones existen gran cantidad de herramientas que utilizan la tecnología VoIP algunas de ellas son de software libre como Asterisk que es una de las herramientas más rentables debido a que brinda las funcionalidades de una PBX a un bajo costo y puede trabajar con líneas RDSI (*Red Digital de Servicios Integrados*), teléfonos analógicos, teléfonos

IP y softphones instalados en un computador o en un teléfono android (Chávez & Saltos, 2015). Asterisk fue creado por Mark Spencer de la empresa Digium en 1999, en un principio únicamente funcionaba sobre un sistema operativo GNU/Linux, pero actualmente debido a su gran éxito dentro del mundo de las telecomunicaciones puede funcionar en toda una variedad de sistemas operativos como: FreeBSD, OpenBSD, Mac OS X, Microsoft Windows y Solaris, pero Linux sigue siendo el principal sistema operativo donde se implementa una central telefónica Asterisk (Martínez, 2011). Debido a la unión de Asterisk y el Proyecto de Telefonía Zapata se creó el primer sistema con interfaz para PSTN, integrando el mundo de la telefonía analógica con el de la telefonía IP (García de Vinuesa, 2012).

2.4.2. Definición

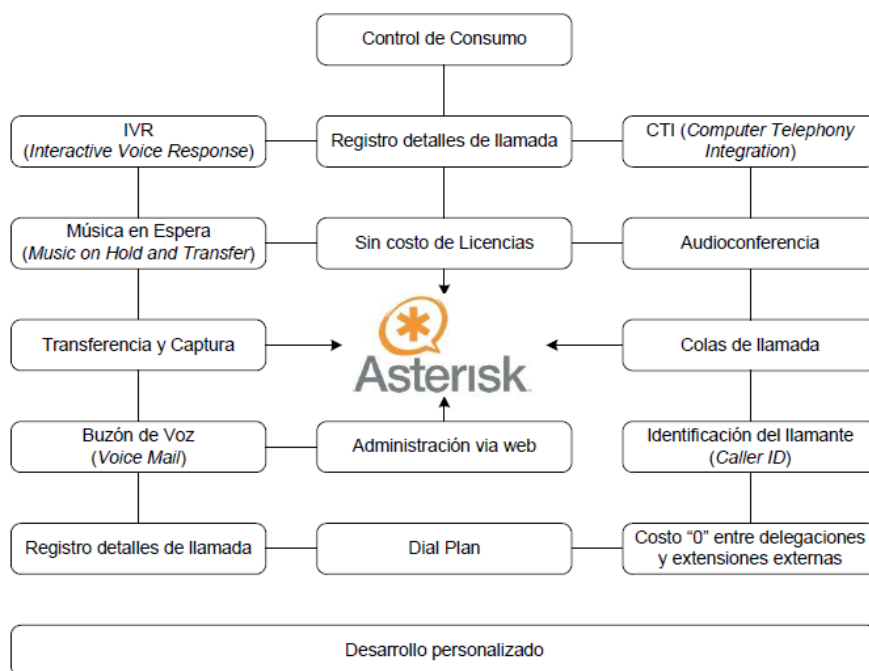
Asterisk es un programa de software libre que trabaja bajo la licencia GPL (*General Public License, código abierto*) que brinda funciones de una central telefónica, como toda central telefónica permite conectar un número determinado de teléfonos para realizar llamadas entre si dentro de una misma red o conectar a un proveedor de VoIP o a una RDSI (Carmona, 2014).

Una central telefónica Asterisk brinda gran cantidad de funciones como creación de extensiones, envío de mensajes de voz a e-mail, llamadas en conferencia, menús de voz interactivos y distribución automática de llamadas, es decir que Asterisk brinda las funciones propias de centrales telefónicas clásicas y además de características avanzadas, permitiendo trabajar tanto con sistemas de telefonía estándar tradicionales y con sistemas de VoIP (Vaca, 2008).

En la Figura 3 se muestra las principales funciones de Asterisk al trabajar como una central telefónica IP.

Figura 3

Características de Asterisk.



Nota. Tomado de *Diseño e implementación de un emulador de central telefónica IP utilizando el software de código abierto ASTERISK para la red de datos de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejercito*, por Vaca J., 2008, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

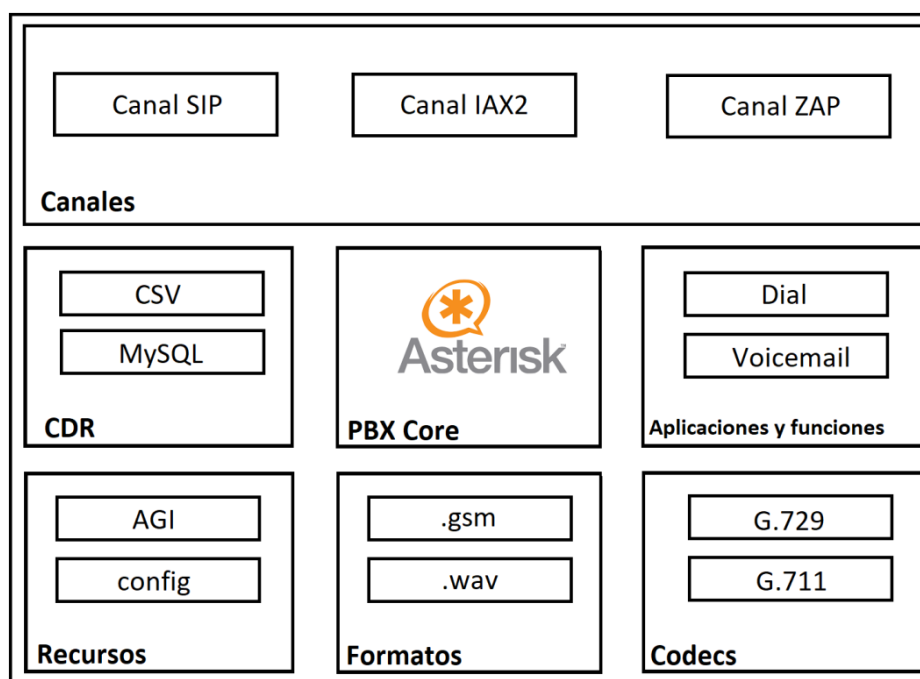
2.4.3. Arquitectura

Asterisk fue diseñado de una manera modular, es decir que cada usuario selecciona que funciones o módulos de Asterisk desea utilizar. Esto hace que Asterisk sea una aplicación escalable, esto significa que es posible desactivar los módulos que no serán utilizados para instalar Asterisk en dispositivos de pocos recursos computacionales, y también es extensible, esto es que para programar un módulo de Asterisk no es necesario conocer todo el código del mismo (López Gómez & Montoya Gil, 2014).

En la Figura 4 se muestra la Estructura modular de Asterisk.

Figura 4

Estructura modular de Asterisk.



Nota. Tomado de *VoIP y Asterisk: Redescubriendo la telefonía*, por López Gómez J, & Montoya Gil F., 2014, Almería: RA-MA.

La Arquitectura de Asterisk permite al usuario construir su sistema de VoIP, seleccionando únicamente los módulos que necesitará. Estos módulos se dividen en 7 categorías que se detallan a continuación:

- **Core:** Es el núcleo de Asterisk, que incluye las funciones más básicas y hace posible la carga de módulos.
- **Recursos:** Aportan funcionalidades extras al core.
- **Canales:** Permiten a Asterisk manejar dispositivos de una determinada tecnología, ya sea dispositivos SIP, IAX2 o para canales analógicos/digitales.
- **Aplicaciones y funciones:** Estos módulos aportan las distintas herramientas para configurar la central telefónica Asterisk.

- **CDR:** Estos módulos controlan la escritura del registro telefónico generado por Asterisk a diferentes formatos según se necesite.
- **Códecs:** Para poder codificar y decodificar la información de audio y video que se tiene que enviar y recibir dentro de la central telefónica Asterisk.
- **Formatos:** Estos módulos permiten a Asterisk “entender” y manejar ficheros en distintos formatos, como mp3, wav, alaw, ulaw, etc.

2.5. Protocolos de VoIP

El principal objetivo de un protocolo de VoIP es crear un flujo bidireccional de datos en tiempo real entre dos dispositivos involucrados en una conversación. La tecnología de VoIP utiliza protocolos de señalización y de transporte, los protocolos de señalización cumplen con funciones semejantes a los protocolos de la telefonía tradicional, permiten establecer, mantener y terminar correctamente una llamada o sesión, también se denomina el control de llamadas, estos protocolos se encuentran en la capa de Sesión del modelo OSI (Rivera & Poma, 2014).

Asterisk soporta numerosos protocolos de VoIP como SIP (*Session Initiation Protocol*) y H.323, además de que los desarrolladores de Asterisk diseñaron un protocolo denominado IAX (*Inter Asterisk eXchange*) que actúa para optimizar la conexión entre centrales telefónicas Asterisk (Vaca, 2008), algunos de los protocolos de señalización se describen a continuación.

2.5.1. Protocolo SIP

El protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) fue desarrollado por la IETF (*Internet Engineering Task Force*), es un protocolo de señalización que permite crear, configurar, modificar y finalizar sesiones interactivas entre múltiples usuarios de una red IP, dichas sesiones incluyen llamadas telefónicas a través de VoIP, distribución de datos

multimedia y conferencias multimedia (Barberán, 2009), el protocolo SIP trabaja al igual que otros protocolos de la capa de Sesión como el protocolos HTTP, debido a que para iniciar una sesión de comunicación se basa en el mecanismo Request y Response (Salcedo, López, & Hernández, 2012).

2.5.2. Protocolo IAX

Asterisk introdujo un protocolo propietario denominado IAX (*Inter Asterisk eXchange*), inicialmente orientado a la conexión de centrales telefónicas Asterisk, sin embargo, actualmente se utiliza la versión 2 de protocolo denominado IAX2 y es utilizado para manejar conexiones VoIP ya sea entre servidores Asterisk o entre servidores y clientes, dicho protocolo se diseñó para minimizar la tasa de bits requerida en las comunicaciones VoIP y para tener un soporte para pasar dispositivos NAT (*Network Address Translation*) (Carmona, 2014), (López Gómez & Montoya Gil, 2014).

IAX utiliza el puerto 4569 UDP para la transmisión de la voz y señalización, esto permite que los firewalls no afecten a la comunicación, además este protocolo permite la troncalización de varios canales de audio en el mismo flujo de datos, es decir, que en un mismo datagrama se envían varias sesiones, lo que representa ahorro de ancho de banda (Caldera & Suazo, 2011).

2.5.3. Protocolo SCCP

El protocolo SCCP (*Skinny Client Control Protocol*) es propietario de Cisco, trabaja en un modelo cliente servidor y es el protocolo predeterminado para puntos finales en una PBX de Cisco Call Manager. Los teléfonos que utilizan el protocolo SCCP son denominados Skinny y estos son compatibles con Asterisk, pero si cumplen la condición de estar conectados teléfonos Cisco a la central telefónica Asterisk (Meggelen, Madsen, & Smith, 2007).

2.5.4. Protocolo H.323

El protocolo H.323 es una recomendación de la ITU (*International Telecommunication Union*), se encarga de distintos aspectos de la comunicación como el direccionamiento, señalización, comprensión, transmisión de voz y el control de la transmisión, en un principio fue diseñado para ser un estándar en la transmisión de audio, video y datos a través de redes IP en las cuales no existe garantía en el QoS (*Quality of Service*), sin embargo dicho estándar ha evolucionado rápidamente convirtiéndose en un estándar de VoIP (López Gómez & Montoya Gil, 2014), además el protocolo H.323 fue el encargado de adoptar el estándar RTP (*Real Time Protocol*) para transportar audio y video a través de redes IP (Gutiérrez, 2006).

2.5.5. Protocolo MGCP

El protocolo MGCP (*Media Gateway Control Protocol*) es estandarizado por RFC 3435, se basa en un modelo cliente/servidor, en este protocolo la señalización de una llamada está separada del tráfico de voz. Se define una entidad denominada Call Agent para controlar el Gateway de voz y el procesamiento de las llamadas, este protocolo simplifica la comunicación de una red PSTN a VoIP, actualmente este protocolo es obsoleto pero IAX2 trabaja con una parte de su estructura (Armijos, 2017).

2.6. Protocolos de Transporte

Los protocolos de Transporte se encuentran en la capa de Transporte del modelo OSI pero no son los protocolos UDP (*User Datagram Protocol*) ni TCP (*Transmission Control Protocol*), el objetivo de los protocolos de transporte es establecer una conexión libre de errores y una transmisión confiable de los datos en tiempo real (Culqui, 2013).

2.6.1. Protocolo RTP

El protocolo RTP (*Real Time Protocolo*) fue desarrollado por la IETF en la RFC 3550, este protocolo define un formato de paquete para transportar audio y video a través de Internet en tiempo real. RTP es uno de los fundamentos de VoIP y se utiliza conjuntamente con SIP. Las aplicaciones que utilizan RTP son menos sensibles a la pérdida de paquetes pero son más sensibles a retardos es por esto que se utiliza el protocolo UDP, RTP no ofrece QoS (Carmona, 2014).

2.6.2. Protocolo RTCP

Para aumentar la funcionalidad del protocolo RTP este hace uso del protocolo RTCP (*Real Time Control Protocol*) que obtiene estadísticas sobre pérdidas de paquetes, latencia y jitter, es decir, información acerca del QoS, en función de las estadísticas que obtenga RTCP se toman medidas para mejorar el QoS como por ejemplo el cambio de códecs de compresión. RTCP provee realimentación en la calidad del envío de datos (García de Vinuesa, 2012).

2.7. Códec

Un códec también denominado codificador/decodificador convierte una señal analógica en un flujo de bits digital, es decir, codifica la señal, otro códec de las mismas características que se encuentra en el otro extremo de la comunicación convierte el flujo de bits digital en una señal analógica, es decir, decodifica la señal transmitida. Los principales factores para optimizar el rendimiento de un códec son la velocidad de la codificación/decodificación, calidad y fidelidad del audio, es decir, de la señal analógica, y el tamaño de flujo de datos codificados (Lencinas, 2016).

Dentro de sistemas de VoIP el uso de un códec es un método de codificación, además de la conversión que realizan los códecs también permiten comprimir la

secuencia de datos que se va a transmitir, esta compresión representa ahorro de ancho de banda en la red IP y permite mayor número de conexiones de VoIP simultáneamente (Culqui, 2013). En la Tabla 1 se muestra algunos códecs con su respectivo ancho de banda.

Tabla 1

Tipos de Códec y su ancho de banda.

Códec	Ancho de Banda (kbps)
G.711	64 kbps
G.726	32 kbps
G.729 (A/B/AB)	8 kbps
GSM (<i>Global System for Mobile Communications</i>)	13 kbps
ILBC (<i>Internet Low Bitrate Codec</i>)	13.3 o 15.2 kbps
Speex	Variable entre 2.15 y 22.4 kbps

Nota. Tomado de *Asterisk: The Future of Telephony*, por Meggelen J., Madsen L., & Smith J., 2007, O'Reilly.

2.7.1. Códec G.711

El códec G.711 se encuentra constituido por dos códecs, los cuales son G.711 ulaw y G.711 alaw. El códec G.711 ulaw es utilizado por la red clásica de telefonía en América, representa las muestras de PCM (*Pulse Code Modulation*) para señales de voz muestreadas a una tasa de 8000 muestras/s, se utiliza 8 bits por muestra, es decir que dicho códec trabaja con 64 kbps y el códec G.711 alaw es equivalente al códec ulaw pero es utilizado en Europa (Lencinas, 2016).

2.7.2. Códec G.726

El códec G.726 es utilizado en diversas aplicaciones que necesitan una alta calidad en la reproducción del audio y principalmente en troncales internacionales de la red de telefonía, dicho códec utiliza el codificador ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) y puede trabajar con velocidades de 16, 24, 32 o 40 kbps, pero la más utilizada es la de 32 kbps, debido a que usualmente utiliza la mitad del ancho de banda con la que trabaja el códec G.711 esto incrementa la capacidad de la red usable en un 100% (Martínez, 2011).

2.7.3. Códec G.729

El códec G.729 es un algoritmo de compresión de datos de audio que comprime audio de voz en intervalos de 10 ms, dicho códec trabaja con una tasa de bits de 8 kbps, generalmente es utilizado para aplicaciones de VoIP como teleconferencia o video llamada por su bajo requerimiento de ancho de banda. G.729 trabaja bajo una licencia de pago y su algoritmo de compresión esta patentado (Culqui, 2013).

2.7.4. Códec GSM

GSM (*Global System for Mobile Communications*) es bastante popular en aplicaciones de VoIP ya que no requiere licencia para utilizarlo y se utiliza generalmente en los canales de las líneas móviles. Este códec trabaja con una tasa de bits de 13 kbps con un consumo de recursos computacionales del sistema medio y es soportado por diversas plataformas de hardware y software (Lencinas, 2016).

2.7.5. Códec ILBC

ILBC (*Internet Low Bit Rate Codec*) es bastante utilizado para comunicaciones robustas sobre VoIP. Este códec fue diseñado para ahorrar ancho de banda y puede

afrontar pérdida de paquetes por fallo de conexión o retraso de los paquetes, trabaja con 13.3 kbps utilizando tramas de 30 ms y con 15.2 kbps utilizando tramas de 20 ms (Ayala & Lomas, 2010).

2.7.6. Códec Speex

Speex es un códec de velocidad de bits variable VBR (*Variable Bit Rate*), es decir, que regula dinámicamente su tasa de transferencia de información cuando existe algún cambio en la red, dicha tasa de transferencia de información varía entre 2.15 kbps a 22.4 kbps. Existen versiones para banda ancha y para banda estrecha dependiendo de las necesidades que requiera el sistema. Es un códec gratuito, con licencia bajo la variante Xiph.org de la licencia BSD (Meggelen, Madsen, & Smith, 2007).

2.8. QoS para VoIP

Según la ITU, QoS o calidad de servicio 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” y según la IETF calidad de servicio se define como el “Conjunto de requisitos del servicio que debe cumplir la red en el transporte de un flujo” (Blanco & Lovera, 2015).

2.8.1. Jitter

El Jitter es la variación del tiempo en la llegada de los paquetes, producida por congestión en la red, pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino. Por lo general el Jitter se presenta en redes de datos no orientadas a la conexión y enlaces de red de baja velocidad basada en conmutación de paquetes (Carmona, 2014).

2.8.2. Latencia

La Latencia también denominada Retardo, dentro del mundo de VoIP se la conoce como el tiempo que se demora un paquete en llegar desde el origen hasta el destino. Las comunicaciones que son en tiempo real sufren de este efecto (Aguilar, 2015).

2.8.3. Pérdida de Paquetes

Las comunicaciones en tiempo real utilizan el protocolo UDP, dicho protocolo no está orientado a la conexión y si se produce una pérdida de paquetes estos no se reenvían. Además la pérdida de paquetes también se produce por descartes de paquetes que no llegan a tiempo al receptor (Carmona, 2014). Sin embargo, debido a que la voz es predictiva, en el caso de que se pierdan paquetes no consecutivos la reconstrucción de la voz que llega al receptor no se ve mayormente afectada (Pazmiño, 2020).

2.8.4. Ancho de Banda

En Internet el ancho de banda es la cantidad de información o de datos que pueden circular por medio de una conexión de red en un tiempo establecido. Si las comunicaciones de VoIP comparten el ancho de banda con otras aplicaciones dicha comunicación puede verse afectada (Aguilar, 2015).

El ancho de banda se encuentra directamente relacionado con el códec que se utiliza dentro de la comunicación, debido a esto es que si no se tiene suficiente ancho de banda según el códec que se utilice la calidad de servicio se degrada (Blanco & Lovera, 2015).

2.8.5. Umbrales de Aceptación para VoIP

Los principales indicadores que definen la calidad de servicio para VoIP son los valores máximos de Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes, en la Tabla 2 se presenta los valores de Umbrales de Aceptación para VoIP y su clasificación de calidad.

Tabla 2

Umbrales de Aceptación para VoIP.

Calidad de VoIP	Excelente	Bueno	Aceptable	Pobre
Jitter (ms)	$t < 10$	$10 \leq t < 20$	$20 \leq t < 50$	$t \geq 50$
Latencia (ms)	$t < 50$	$50 \leq t < 150$	$150 \leq t < 300$	$t \geq 300$
Pérdida de Paquetes (%)	$p < 0,1$	$0,1 \leq p < 0,5$	$0,5 \leq p < 1,5$	$p \geq 1,5$

Nota. Tomado de *Evaluación de un prototipo de central Asterisk implementado sobre la tarjeta Raspberry PI*, por Chávez M. & Saltos D., 2015, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

2.8.6. MOS

MOS (*Mean Opinion Score*) es la medida de la calidad de la voz de manera subjetiva según la recomendación ITU-T P.800, se determina a través de una calificación entre 1 y 5 que indica el usuario para determinar la calidad de la llamada de VoIP. En la Tabla 3 se muestra la calificación del MOS. Según los Umbrales de Aceptación para VoIP se puede obtener una calificación MOS de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 3*Calificación MOS.*

MOS	Calificación
Excelente	5
Bueno	4
Aceptable	3
Pobre	2
Malo	1

Nota. Tomado de Chávez & Saltos, 2015.**Tabla 4***Parámetros de QoS y MOS.*

MOS	Jitter	Latencia	Pérdida de Paquetes
Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Bueno	Excelente	Bueno	Bueno
Bueno	Bueno	Excelente	Bueno
Bueno	Bueno	Bueno	Excelente
Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Aceptable	Bueno	Bueno	Aceptable
Aceptable	Bueno	Aceptable	Bueno
Aceptable	Aceptable	Bueno	Bueno
Aceptable	Aceptable	Bueno	Aceptable
Aceptable	Aceptable	Aceptable	Bueno
Pobre	Bueno	Aceptable	Aceptable
Pobre	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Pobre	Pobre	Aceptable	Aceptable
Pobre	Aceptable	Pobre	Aceptable
Pobre	Aceptable	Aceptable	Pobre
Pobre	Pobre	Pobre	Aceptable
Pobre	Pobre	Aceptable	Pobre
Pobre	Aceptable	Pobre	Pobre
Malo	Pobre	Pobre	Pobre

Nota. Tomado de Chávez & Saltos, 2015.

2.9. SIPp

SIPp es una herramienta que permite realizar pruebas de rendimiento para el protocolo SIP. Trabaja bajo algunos escenarios básicos de agente de usuario de SipStone y establece y libera múltiples llamadas con los métodos INVITE y BYE. Los resultados de la ejecución de las pruebas que presenta SIPp son tasa de llamadas, retraso de ida y vuelta y estadísticas de mensajes. SIPp se puede utilizar para probar gran cantidad de equipos SIP reales como servidores proxy SIP, servidores de medios SIP, Gateways SIP/x y PBX SIP (Gayraud, Jacques, Day, & Wright, 2020).

2.10. WireShark

WireShark es un analizador de protocolos de red que tiene como objetivo principal el análisis de tráfico, es decir, que presenta los datos de paquetes capturados con el mayor detalle posible en un formato fácil de entender, también es una excelente herramienta para el estudio de comunicaciones, resolución de problemas de red, análisis de seguridad de red y para depurar implementaciones de protocolos (Banerjee, Vashishtha, & Saxena, 2010). Algunas de las principales características que brinda WireShark se presentan a continuación:

- Trabaja bajo la licencia GPL.
- Puede ejecutarse sobre diversos sistemas operativos como Linux, Solaris FreeBSD, OpenBSD, Mac OS X y Microsoft Windows.
- Puede filtrar paquetes con diversos criterios.
- Interfaz de usuario y línea de comandos fáciles de utilizar.
- Es compatible con más de 1100 protocolos.
- Puede capturar datos de red en tiempo real desde varios tipos de interfaz o leer paquetes de datos de una captura realizada anteriormente.

CAPITULO III

IMPLEMENTACIÓN DE LA CENTRAL TELEFÓNICA IP

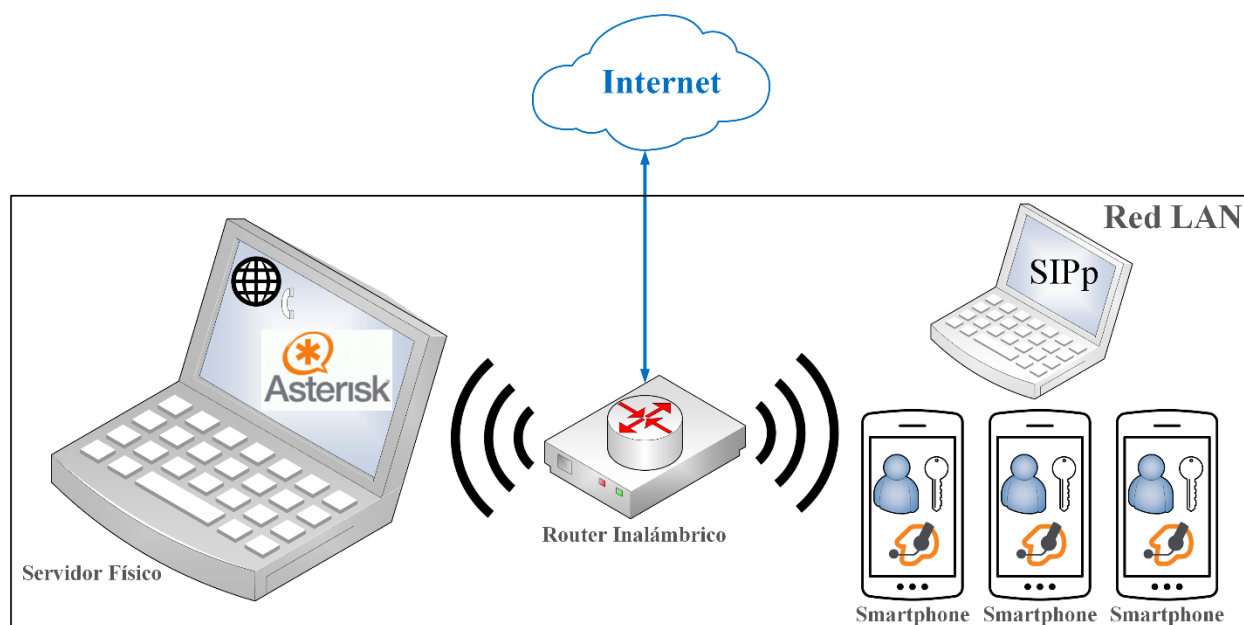
3.1. Implementación sobre un Servidor Físico

3.1.1. Arquitectura

El sistema de VoIP implementado sobre un servidor físico consta de un computador con sistema operativo Ubuntu (Linux) que contiene Asterisk, los terminales de la red local y un AP que conecta el servidor físico con los terminales de la red que puede tener acceso o no a internet. Los terminales pueden registrarse en la central telefónica cuando se hayan conectado a la red LAN, obtener una dirección IP privada de dicha red e ingresar su usuario y contraseña. La Arquitectura del sistema de VoIP implementado sobre un servidor físico se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Arquitectura del Sistema de VoIP sobre un servidor físico.



Nota. Elaboración Propia.

3.1.2. Descripción del Hardware

3.1.2.1. Servidor Físico

El servidor de VoIP se implementa en un computador de alta gama que generalmente se utiliza en la industria y cuenta con las siguientes características:

- Modelo Dell Inspiron 5559
- Procesador: Intel Core i7 de sexta generación
- RAM: 16 GB
- Sistema Operativo de 64 bits
- Conectividad Inalámbrica: Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n y Wi-Fi IEEE 802.11 ac

Originalmente el computador, que será utilizado como servidor físico, contiene únicamente el sistema operativo Windows 10, a través de una partición en el disco duro se instalará un nuevo sistema operativo Ubuntu 18.04 en el cual es más factible y sencilla la instalación del software Asterisk.

Figura 6

Computador con dos tipos de SO.



Nota. Elaboración Propia.

3.1.2.2. Router

Para la implementación del sistema de VoIP se utilizó un enrutador inalámbrico Huawei denominado EchoLife HG8245H, dicho enrutador se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Router EchoLife HG8245H.



Nota. Tomado de *EchoLife ONT GPON Terminal Product Description*, por Huawei, 2020, <https://fccid.io/QISHG8245H/User-Manual/Product-Manual-1979681.pdf>.

El router inalámbrico EchoLife HG8245H es un ONT (*Optical Network Termination*) que utiliza la tecnología GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Network*), dicho ONT proporciona un canal de datos de alta velocidad a través de fibra óptica, las principales características técnicas y físicas del ONT se muestran en la Tabla 5 y 6 respectivamente (Huawei, 2020).

Tabla 5

Características técnicas del router EchoLife HG8245H.

Wireless	
Estándares Inalámbricos	IEEE 802.11 b/g/n
Frecuencia de operación	2.4 GHz y 5 GHz
Tasas de Transmisión	54 Mbps
Seguridad	Encriptado WEP de 64 y 128 bits. WPA, WPA-PSK, WPA2, WPA2-PSK, AES y TKIP.

Nota. Tomado de *EchoLife ONT GPON Terminal Product Description*, por Huawei, 2020, <https://fccid.io/QISHG8245H/User-Manual/Product-Manual-1979681.pdf>.

Tabla 6

Características físicas del router EchoLife HG8245H.

Hardware	
	1 Puerto GPON Rx: 2.488 Gbps y Tx: 1.244 Gbps
Puertos	4 Puertos Ethernet LAN 10 – 1000 Mbps 1 Puerto Ethernet WAN 10 – 1000 Mbps
Antenas	2 antenas omnidireccionales
Fuente de Alimentación DC	11 – 14 VDC, 2 A
Dimensiones	176 mm x 138.5 mm x 28 mm

Nota. Tomado de *EchoLife ONT GPON Terminal Product Description*, por Huawei, 2020, <https://fccid.io/QISHG8245H/User-Manual/Product-Manual-1979681.pdf>.

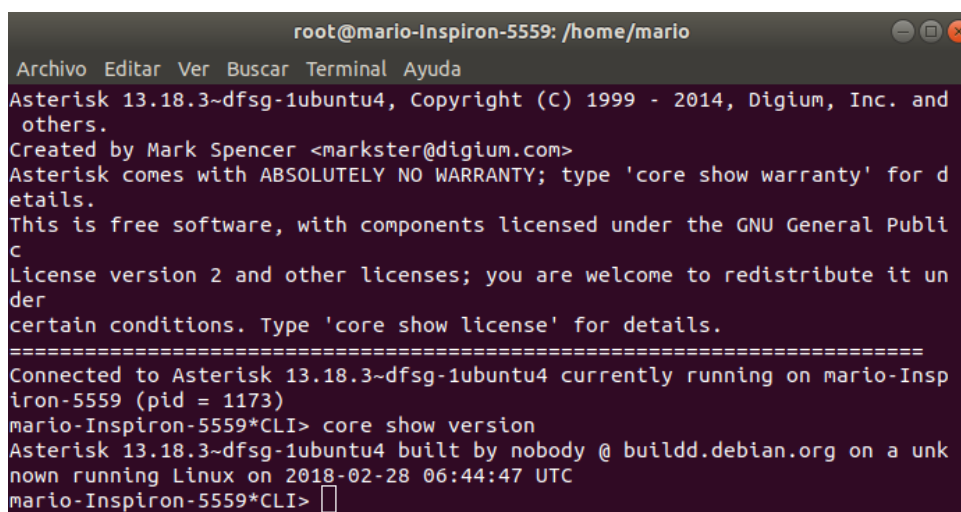
3.1.3. Instalación del Software Asterisk

Asterisk trabaja con dos tipos de versiones que definen cuanto tiempo será compatible el software instalado. La primera versión de Asterisk es LTS (*Long Term Support*) o soporte a largo plazo, esta versión es totalmente compatible durante 4 años más un año adicional de mantenimiento para soluciones de seguridad y la segunda versión es Estándar que es compatible por un periodo de tiempo más corto, un año de soporte completo y un año adicional de mantenimiento para arreglos de seguridad (Asterisk, 2020).

La versión de Asterisk instalada en el servidor físico es la 13.18.3, la cual es una versión LTS lanzada al mercado el 1 de diciembre del 2017, lo que indica que dicha versión brinda soporte hasta el año 2021 y actualizaciones de seguridad hasta el 2022, esta versión se realizó para abordar vulnerabilidades de seguridad que se identificaron en la versión anterior, la versión instalada se muestra en la Figura 8. La instalación de Asterisk sobre un servidor físico se muestra de manera detallada en la sección anexos, Anexo A.

Figura 8

Versión instalada de Asterisk en el servidor físico.



```
root@mario-Inspiron-5559: /home/mario
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
Asterisk 13.18.3~dfsg-1ubuntu4, Copyright (C) 1999 - 2014, Digium, Inc. and
others.
Created by Mark Spencer <markster@digium.com>
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for d
etails.
This is free software, with components licensed under the GNU General Publi
c
License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it un
der
certain conditions. Type 'core show license' for details.
=====
Connected to Asterisk 13.18.3~dfsg-1ubuntu4 currently running on mario-Insp
iron-5559 (pid = 1173)
mario-Inspiron-5559*CLI> core show version
Asterisk 13.18.3~dfsg-1ubuntu4 built by nobody @ buildd.debian.org on a unk
nown running Linux on 2018-02-28 06:44:47 UTC
mario-Inspiron-5559*CLI> □
```

3.1.4. Configuración Asterisk

Luego de instalar la central telefónica Asterisk se puede observar dentro del directorio `/etc/asterisk`, que es donde se encuentra instalado el software, todos los archivos de configuración de la central telefónica, algunos de ellos se detallan a continuación:

- *cdr.conf* se utiliza para la configuración del almacenamiento de los registros de llamadas realizadas o también denominado CDR (*Call Detail Record*).
- *features.conf* permite habilitar y configurar la transferencia y monitoreo de llamadas.
- *musiconhold.conf* para la configuración de la música en espera.
- *meetme.conf* funciona para configurar salas de conferencia.
- *queues.conf* para configurar colas de llamadas.
- *voicemail.conf* permite configurar el buzón de voz para cada usuario SIP.

En la Figura 9 se muestran todos los archivos de configuración que presenta Asterisk, para el presente proyecto los principales archivos que se utilizaran son *sip.conf* y *extensions.conf*.

Figura 9

Archivos de Configuración de Asterisk.

```

root@mario-Inspiron-5559: /etc/asterisk
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
root@mario-Inspiron-5559:/etc/asterisk# ls
acl.conf                chan_mobile.conf      pjsip.conf
ads_i.conf             dbsep.conf            pjsip_notify.conf
agents.conf            dnsmgr.conf          pjsip_wizard.conf
alarmreceiver.conf    dsp.conf              queuerules.conf
alsa.conf             dundi.conf           queues.conf
amd.conf              enum.conf             res_config_mysql.conf
app_mysql.conf        extconfig.conf       res_config_sqlite3.conf
app_skel.conf         extensions.ael        res_config_sqlite.conf
ari.conf              extensions.conf      res_corosync.conf
ast_debug_tools.conf  extensions.conf.dpkg-old res_curl.conf
asterisk.adsi         extensions.lua        res_fax.conf
asterisk.conf         extensions_minivm.conf res_ldap.conf
calendar.conf        features.conf        res_ldap.conf
ccss.conf            festival.conf        res_odbc.conf
cdr_adaptive_odbc.conf followme.conf        res_parking.conf
cdr.conf              func_odbc.conf       res_pgsql.conf
cdr_custom.conf       hep.conf             res_pktccops.conf
cdr_manager.conf     http.conf            res_snmp.conf
cdr_mysql.conf        iax.conf             res_stun_monitor.conf
cdr_odbc.conf         iaxprov.conf        rtp.conf
cdr_pgsql.conf        indications.conf    say.conf
cdr_sqlite3_custom.conf logger.conf          sip.conf
cdr_syslog.conf       manager.conf         sip.conf.dpkg-old
cdr_tds.conf          manager.d            sip_notify.conf
cel.conf              meetme.conf         skinny.conf
cel_custom.conf       mgcp.conf           sla.conf
cel_odbc.conf         minivm.conf         smdi.conf
cel_pgsql.conf        misdns.conf         sorcery.conf
cel_sqlite3_custom.conf modules.conf        ss7.timers
cel_tds.conf          motif.conf           stasis.conf
cli_aliases.conf     musiconhold.conf    statsd.conf
cli.conf              muted.conf           telcordia-1.ads_i
cli_permissions.conf ooh323.conf         test_sorcery.conf
codecs.conf           osp.conf             udptl.conf
confbridge.conf      oss.conf             unistim.conf
config_test.conf     phone.conf           users.conf
console.conf         phoneprov.conf      voicemail.conf
chan_dahdi.conf      pjproject.conf      vpb.conf
root@mario-Inspiron-5559:/etc/asterisk#

```

3.1.4.1. Configuración del archivo *sip.conf*

En el archivo *sip.conf* se configuran los dispositivos que trabajan con el protocolo SIP y se conectarán a la central telefónica Asterisk, este archivo de configuración está conformado por dos bloques, un bloque general donde se configuran parámetros de carácter global, es decir, que se aplicarán a todos los usuarios del sistema de VoIP y un bloque donde se configura de manera singular a cada uno de los usuario, en este

bloque se configura el usuario y contraseña que son parámetros esenciales para acceder a la central telefónica.

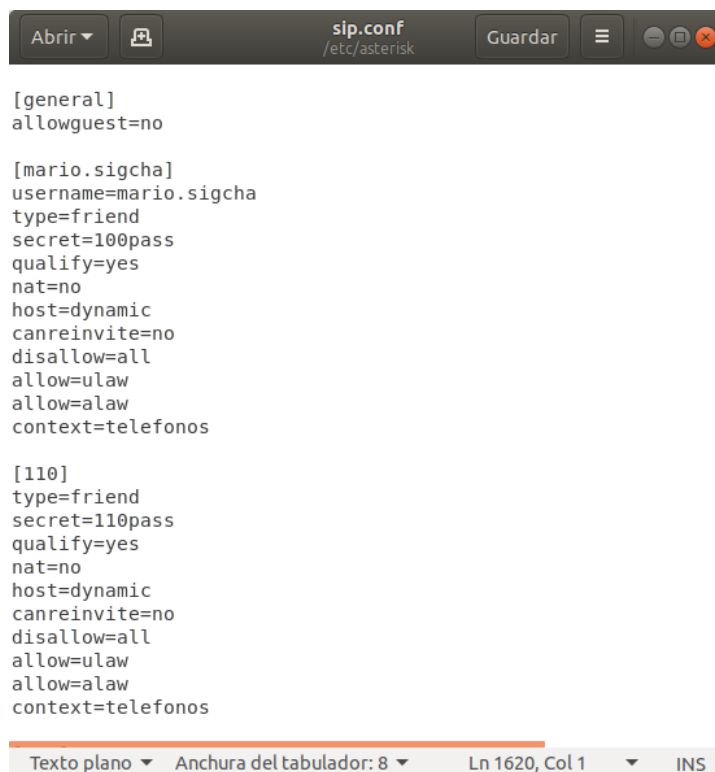
Cuando se define usuarios SIP, lo más importante es definir el tipo de usuario, Asterisk define tres tipos de usuarios que se detallan a continuación:

- **peer:** Son los usuarios a los que Asterisk envía llamadas.
- **user:** Son los usuarios de los que Asterisk recibe llamadas, este tipo de usuarios se utiliza para autenticar llamadas entrantes.
- **friend:** El usuario friend es una combinación de los usuarios peer y user, es decir, que envían y reciben llamadas hacia y desde Asterisk.

La configuración del archivo *sip.conf* del sistema de VoIP implementado sobre un servidor físico se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Configuración del archivo sip.conf.



```
[general]
allowguest=no

[mario.sigcha]
username=mario.sigcha
type=friend
secret=100pass
qualify=yes
nat=no
host=dynamic
canreinvite=no
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
context=telefonos

[110]
type=friend
secret=110pass
qualify=yes
nat=no
host=dynamic
canreinvite=no
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
context=telefonos
```

Texto plano ▾ Anchura del tabulador: 8 ▾ Ln 1620, Col 1 ▾ INS

Como se muestra en la Figura 10 la configuración del archivo *sip.conf* cuenta con un bloque general y un bloque donde se define cada usuario, estos usuarios pueden contener cualquier nombre o número y serán vinculados con su correspondiente extensión en el archivo *extensions.conf*. A continuación se describe cada comando utilizado en la configuración.

- **allowguest:** Es un parámetro de seguridad, impide que llamadas anónimas, es decir, de extensiones SIP sin contraseña, entren a la central telefónica.
- **username:** Es el nombre de usuario con el que se conectará al servidor de telefonía IP, dentro de los corchetes se puede indicar el nombre del usuario.
- **type:** Define el tipo de conexión que tendrá el cliente dentro del sistema.
- **secret:** Es la contraseña del usuario, al igual que el parámetro *username* funciona para la autenticación del usuario y por ende para la correcta conexión al servidor de telefonía IP.
- **qualify:** Este parámetro sirve para dar seguimiento a un determinado usuario o extensión a través de la CLI (*command-line interface*) de Asterisk.
- **nat:** Habilita o deshabilita la traducción de direcciones IP, generalmente este parámetro es deshabilitado ya que el protocolo SIP presenta problemas con NAT.
- **host:** En este parámetro se indica la dirección IP del usuario, debido a que los softphones trabajan con DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) la dirección IP de estos pueden variar y afectar a la conexión con la central telefónica, es por esto que el parámetro *host* utiliza el indicador *dynamic* para que cualquier usuario pueda conectarse con cualquier dirección IP que tenga conectividad con la central telefónica.

- **canreinvite:** Al deshabilitar este parámetro con el indicador “no” el audio en una llamada viaja a través del servidor Asterisk y no únicamente entre ambos terminales, esto evita inconvenientes de sonido en ambas direcciones.
- **disallow:** Este parámetro deshabilita todos los códecs de audio.
- **allow:** Este parámetro habilita los códecs de audio que se elijan, estos pueden ser ulaw, alaw, gsm, etc.
- **context:** Este parámetro indica el nombre de la sección en el archivo *extensions.conf* que asocia cada uno de los usuarios SIP con su respectiva extensión dentro del plan de marcado del servidor.

3.1.4.2. Configuración del archivo *extensions.conf*

El archivo de configuración *extensions.conf* es uno de los más importantes de Asterisk, ya que en este es donde se configura el dialplan o plan de marcado, es decir, el comportamiento de la central telefónica, la configuración de dicho archivo indica al servidor de telefonía IP que debe realizar cuando recibe una llamada por parte de un usuario SIP, dentro de este archivo también se puede establecer privilegios a los usuarios. La configuración del archivo descrito trabaja con la siguiente sintaxis:

exten => extensión, prioridad, comando (parámetros)

- **extensión:** Es el nombre de la extensión o número de marcado.
- **prioridad:** Indica el orden en que se van a ejecutar los comandos.
- **comando:** Son órdenes que ejecutan una acción determinada como contestar o colgar una llamada.

En la Figura 11 se muestra la configuración del archivo *extensions.conf*.

Figura 11

Configuración del archivo *extensions.conf*.

```

;exten => extensión, prioridad, comando(parámetros)

[telefonos]

exten => 100,1,Dial(SIP/mario.sigcha,30,Ttm)
exten => 100,2,Hangup
exten => 100,102,Voicemail(100)
exten => 100,103,Hangup

exten => 110,1,Dial(SIP/110,30,Ttm)
exten => 110,2,Hangup
exten => 110,102,Voicemail(110)
exten => 110,103,Hangup

exten => 120,1,Dial(SIP/120,30,Ttm)
exten => 120,2,Hangup
exten => 120,102,Voicemail(120)
exten => 120,103,Hangup

exten => 130,1,Dial(SIP/130,30,Ttm)
exten => 130,2,Hangup
exten => 130,102,Voicemail(130)
exten => 130,103,Hangup

```

La configuración del archivo *extensions.conf* comienza con el parámetro *context*, este debe ser igual al *context* de cada uno de los usuarios definidos en el archivo *sip.conf*, en este caso se denomina [telefonos]. A continuación se define cada comando utilizado en la configuración:

- **exten => 100,1,Dial(SIP/mario.sigcha,30,Ttm):** Se conecta a la extensión 100 que se encuentra asociada con el usuario mario.sigcha, también puede estar asociada a un número y no a un usuario como la extensión 110. El numero 30 indica el tiempo en segundos que el usuario espera a que la llamada sea atendida.
- **exten => 100,2, Hangup:** Este comando termina la llamada.
- **exten => 100,102, Voicemail(100):** Este comando indica que la llamada irá a buzón de voz porque el usuario no atendió dicha llamada.

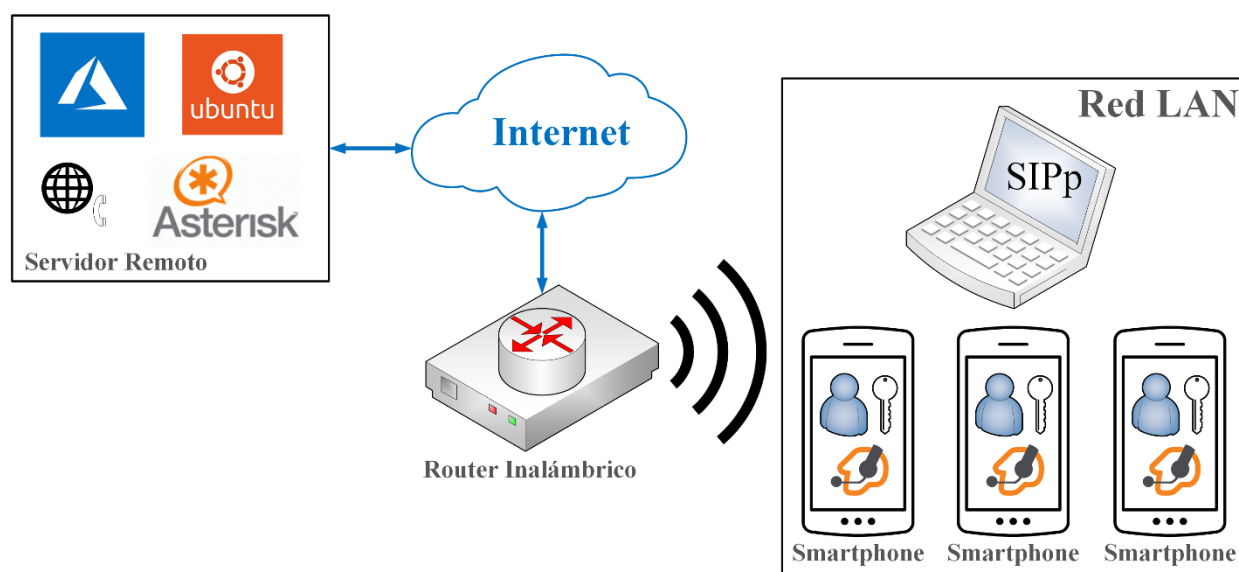
3.2. Implementación sobre un Servidor Remoto

3.2.1. Arquitectura

El sistema de VoIP en la nube consta de un servidor que se encuentra en una plataforma que brinda servicios de Cloud Computing, en este caso es Azure, este servidor consta al igual, que la arquitectura del sistema de VoIP implementado sobre un servidor físico, de un sistema operativo Ubuntu y el software Asterisk, el sistema también cuenta con los terminales de la red local los cuales pueden acceder a la central telefónica a través de la dirección IP pública que brinda el servidor en la nube, su usuario y contraseña, esto indica que el AP utilizado dentro de esta arquitectura necesariamente debe tener acceso a Internet. Se utilizó el mismo AP que se encuentra descrito en la sección 3.1.2.2. La Arquitectura del sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Arquitectura del Sistema de VoIP sobre un servidor remoto.



Nota. Elaboración Propia

3.2.2. Descripción del Software

3.2.2.1. Servidor Remoto

Microsoft Azure es un conjunto de servicios en la nube que satisfacen las necesidades comerciales y tecnológicas de cualquier tipo de organización o institución. Dicha plataforma de Cloud Computing brinda gran cantidad de herramientas que permiten crear, implementar y administrar aplicaciones en una red mundial mediante el uso de sus centros de datos. De forma general Azure brinda servicios de plataforma (*PaaS Platform as a Service*) y servicios de infraestructura (*IaaS, Infrastructure as a Service*) (Azure, 2020). Algunas de las principales ventajas de Azure frente a sus principales competidores son una mayor seguridad en la nube y por lo tanto mayor confianza en la entrega de datos, ayuda a la portabilidad de aplicaciones y cargas de trabajo a la nube, tiene un mayor número de regiones con servicios en la nube, permite la incorporación de código abierto y por último administra y optimiza los gastos en la nube (Montoya, 2018).

Para que una central telefónica Asterisk trabaje de manera adecuada se necesitan requerimientos mínimos del servidor en el que se implementará dicha central, estos requerimientos son mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7

Requerimientos mínimos para implementar una central telefónica Asterisk.

Propósito	Número de canales	Software recomendado
Pruebas	No más de 5	400 MHz x86, 256 MB RAM
SOHO (<i>Small Office – Home Office</i>)	5 a 10	1 GHz x86, 512 MB RAM
Sistema pequeño	Hasta 25	3 GHz x86, 1 GB RAM
Sistema mediano - grande	Más de 25	CPU Duales o Servidores múltiples

Nota. Tomado de Chávez & Saltos, 2015.

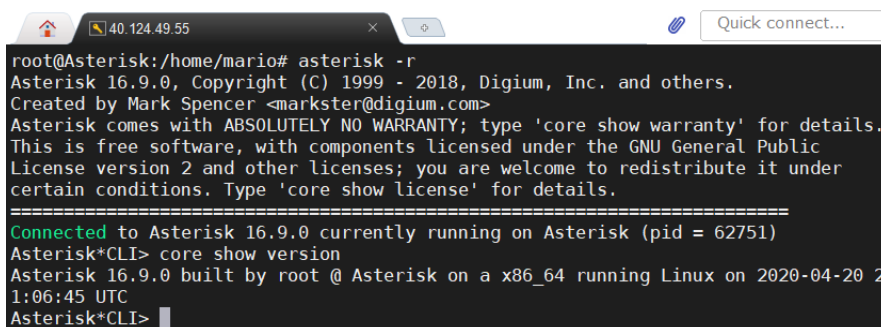
Debido a que el análisis del sistema de VoIP implementado en ambos tipos de servidores deben estar en escenarios similares, la instancia o software escogido en el servidor remoto es de CPU Duales de 8 GB cada uno, lo que permite que la central telefónica implementada funcione para un sistema mediano o grande al igual que el servidor físico descrito en la sección 3.1.2.1. La creación de la Máquina Virtual en la plataforma Microsoft Azure se muestra en el Anexo B.

3.2.3. Instalación del Software Asterisk

La versión de Asterisk instalada en el servidor remoto es la 16.9.0, la cual es una versión LTS lanzada al mercado el 12 de marzo del 2020, lo que indica que dicha versión brinda soporte hasta el año 2024 y actualizaciones de seguridad hasta el 2025, la versión instalada se muestra en la Figura 13. La instalación de Asterisk sobre un servidor remoto se muestra de manera detallada en la sección anexos, Anexo C.

Figura 13

Versión instalada de Asterisk en el servidor remoto.



```

root@Asterisk:/home/mario# asterisk -r
Asterisk 16.9.0, Copyright (C) 1999 - 2018, Digium, Inc. and others.
Created by Mark Spencer <markster@digium.com>
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for details.
This is free software, with components licensed under the GNU General Public
License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it under
certain conditions. Type 'core show license' for details.
=====
Connected to Asterisk 16.9.0 currently running on Asterisk (pid = 62751)
Asterisk*CLI> core show version
Asterisk 16.9.0 built by root @ Asterisk on a x86_64 running Linux on 2020-04-20 2
1:06:45 UTC
Asterisk*CLI>

```

3.2.4. Configuración Asterisk

3.2.4.1. Configuración del archivo *sip.conf*

El archivo *sip.conf* está conformado por un bloque general donde se configuran parámetros de carácter global relacionados directamente con el servidor remoto y por un bloque donde se configura a cada usuario en forma independiente. La configuración del archivo *sip.conf* del sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto se muestra en la Figura 14.

Figura 14

*Configuración del archivo *sip.conf*.*



```

GNU nano 2.9.3 sip.conf
[general]
nat=force_rport,comedia
externip=40.124.49.55
localnet=10.0.2.4/255.255.255.0
udpbindaddr=0.0.0.0:5060
realm=40.124.49.55
allowguest=no

[mario.sigcha]
username=mario.sigcha
type=friend
secret=100pass
qualify=yes
host=dynamic
canreinvite=no
disallow=all
allow=ulaw
context=telefonos

```


Como indica la Figura 14 la configuración del archivo *sip.conf* es muy semejante a la configuración del archivo *sip.conf* descrita en la sección 3.1.4.1, con la diferencia de ciertos comandos en el bloque general que son descritos a continuación.

- **nat:** Habilita o deshabilita la traducción de direcciones IP, debido a que el servidor remoto y los terminales se encuentran detrás de un NAT se debe habilitar la traducción de direcciones con *force_rport,comedia*.
- **externip:** Debido a que todo el sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto se encuentra detrás de un NAT se debe especificar la dirección IP pública del servidor a donde los terminales se conectarán. Dicha dirección IP pública es la 40.124.49.55, la cual es asignada dinámicamente por la plataforma de Cloud Computing utilizada y se muestra en la Figura 15.
- **localnet:** Debido a la misma razón de los dos casos anteriores se especifica la dirección IP local del servidor remoto. Dicha dirección se obtiene ejecutando el comando *ifconfig* dentro de la consola de administración del servidor remoto. El resultado del comando *ifconfig* se muestra en la Figura 16.
- **udpbindaddr:** Esta opción define la interfaz de red y puerto donde Asterisk escucha las peticiones de entrada. Si la IP es la 0.0.0.0:5060 quiere decir que Asterisk escuchará en todas las interfaces disponibles con el puerto 5060 UDP.
- **realm:** Esta opción es un ámbito de autenticación de los terminales que identifica un límite de seguridad, en dicha opción se define el dominio o dirección IP del servidor.

Figura 15

Configuración de red del servidor remoto.

**Figura 16**

Resultado del comando `ifconfig` dentro del servidor remoto.

```

root@Asterisk:/home/mario# ifconfig
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.2.4 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.2.255
    inet6 fe80::20d:3aff:fe72:f646 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 00:0d:3a:72:f6:46 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 1626966 bytes 950376293 (950.3 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 59880229 bytes 13033573836 (13.0 GB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 194208 bytes 21798964 (21.7 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 194208 bytes 21798964 (21.7 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

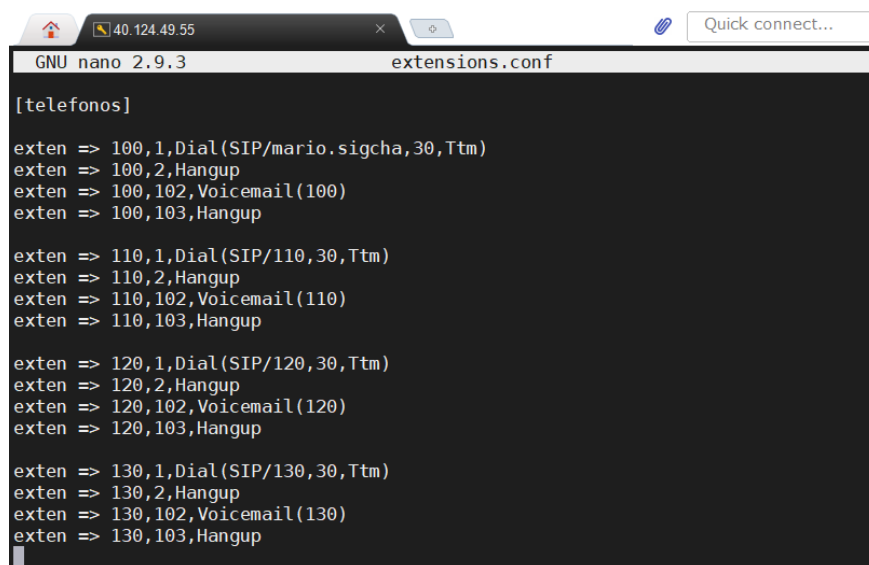
```

3.2.4.2. Configuración del archivo `extensions.conf`

En el archivo `extensions.conf` se configura el plan de marcado, la configuración de dicho archivo es la misma configuración del archivo `extensions.conf` descrita en la sección 3.1.4.2. La Figura 17 muestra la configuración del archivo `extensions.conf` del sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto.

Figura 17

Configuración del archivo `extensions.conf`.



```
GNU nano 2.9.3 extensions.conf

[telefonos]

exten => 100,1,Dial(SIP/mario.sigcha,30,Ttm)
exten => 100,2,Hangup
exten => 100,102,Voicemail(100)
exten => 100,103,Hangup

exten => 110,1,Dial(SIP/110,30,Ttm)
exten => 110,2,Hangup
exten => 110,102,Voicemail(110)
exten => 110,103,Hangup

exten => 120,1,Dial(SIP/120,30,Ttm)
exten => 120,2,Hangup
exten => 120,102,Voicemail(120)
exten => 120,103,Hangup

exten => 130,1,Dial(SIP/130,30,Ttm)
exten => 130,2,Hangup
exten => 130,102,Voicemail(130)
exten => 130,103,Hangup
```

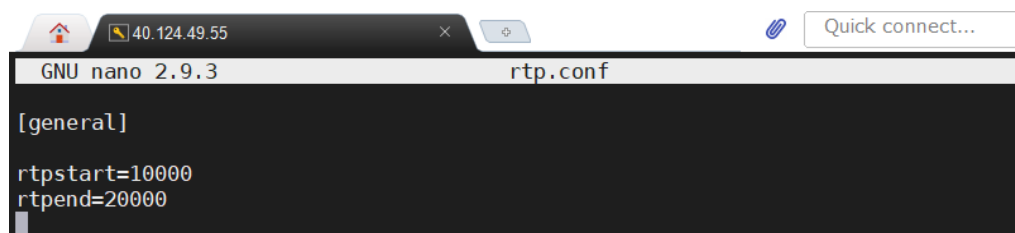
3.2.4.3. Configuración del archivo `rtp.conf`

En la transmisión de voz entre dos terminales se utiliza un puerto específico del protocolo UDP, dicho puerto se negocia cuando se establece la llamada, en este caso se utiliza un rango de puertos UDP que inicia en el puerto 10000 y finaliza en el 20000.

La Figura 18 muestra la configuración del archivo `rtp.conf` del sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto.

Figura 18

Configuración del archivo `rtp.conf`.



```
GNU nano 2.9.3 rtp.conf

[general]

rtpstart=10000
rtpend=20000
```

El rango de puertos configurados en el archivo *rtp.conf* también deben habilitarse dentro del servidor remoto donde se encuentra implementada la central telefónica Asterisk. La Figura 19 muestra la habilitación de diversos puertos dentro del servidor remoto.

Figura 19

Configuración de Reglas de puertos de entrada dentro del servidor remoto.

Prioridad	Nombre	Puerto	Protocolo	Origen	Destino	Acción	
300	SSH	22	TCP	Cualquiera	Cualquiera	Permitir	***
310	Asterisk	10000-20000	UDP	Cualquiera	Cualquiera	Permitir	***
320	Port_5060	5060	UDP	Cualquiera	Cualquiera	Permitir	***
330	Port_5061	5061	TCP	Cualquiera	Cualquiera	Permitir	***
65000	AllowVnetInBound	Cualquiera	Cualquiera	VirtualNetwork	VirtualNetwork	Permitir	***
65001	AllowAzureLoadBalancerInBound	Cualquiera	Cualquiera	AzureLoadBalancer	Cualquiera	Permitir	***
65500	DenyAllInBound	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Denegar	***

Las funciones de los puertos habilitados en el servidor remoto son descritas a continuación.

- **SSH (Secure SHell):** SSH es un protocolo que utiliza el puerto 22 TCP para la administración remota del servidor, se accede a dicha administración a través de la IP pública que brinda el servidor y de un programa cuya función principal es el acceso remoto.
- **Asterisk:** El rango de puertos 10000 al 20000 UDP es para la transmisión de voz como se mencionó anteriormente.
- **Port_5060 y Port_5061:** A través de los puertos 5060 UDP y 5061 TCP se envían las peticiones de las llamadas de los terminales y de las llamadas generadas por SIPp.

CAPITULO IV

EVALUACIÓN DE LA CENTRAL TELEFÓNICA

Una vez implementada la central telefónica Asterisk sobre un servidor físico y sobre un servidor remoto se realiza un análisis del desempeño de cada una de las centrales telefónicas y una comparación de los mismos, dicho análisis se realizará de forma objetiva y subjetiva, la primera a través de la generación de tráfico SIP con el software libre SIPp y el análisis de métricas de calidad de servicio como jitter, latencia, pérdida de paquetes y ancho de banda a través del software libre Wireshark, para determinar si dichas métricas se encuentran dentro de los umbrales aceptables de VoIP y determinar las capacidades reales de cada uno de los tipos de sistemas de VoIP implementados, y la segunda a través del análisis del MOS para obtener la calidad de experiencia del usuario QoE.

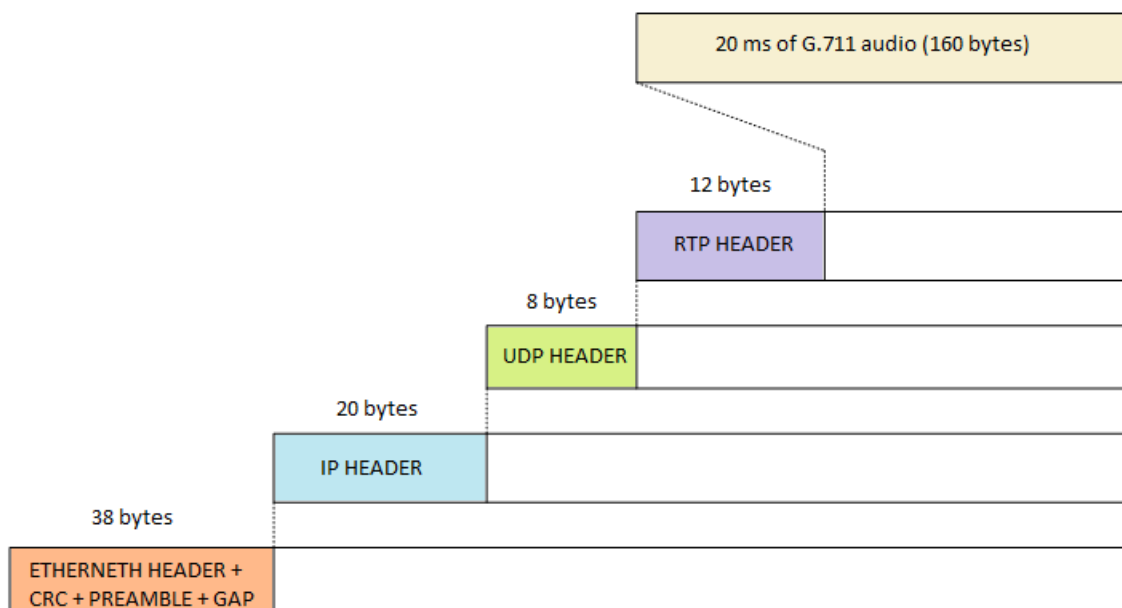
4.1. Llamadas simultáneas considerando el ancho de banda

Las llamadas simultáneas es una de las principales herramientas durante la evaluación de una central telefónica ya que permite determinar la eficiencia y capacidad de un sistema de VoIP. No es recomendable el uso de un ancho de banda inferior a 1 Mbps para la transmisión de voz es por esto que en el presente proyecto ambos tipos de arquitectura mostrados en el Capítulo III tienen acceso a Internet y este tiene un ancho de banda de 25 Mbps proporcionado por el proveedor de servicios, se utiliza únicamente el escenario con acceso a Internet debido a que la comparación del desempeño de ambos tipos de sistemas de VoIP se deben realizar en escenarios similares y en el sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto necesariamente debe existir acceso a Internet.

Para obtener la capacidad teórica de llamadas simultáneas que sostendrá la central telefónica se debe escoger un códec de audio para Latinoamérica el cual es G.711 ulaw este trabaja con un tamaño de códec de 80 bytes, intervalo del códec de 20 ms, una calificación MOS de 4.1, un tamaño de la carga útil de voz o payload del códec de 160 bytes o 20 ms, 50 paquetes o tramas por segundo y un ancho de banda Ethernet de 87.2 kbps (Cisco, Voz sobre IP – Consumo de Ancho de Banda por Llamada, 2020). La estructura total de la trama del códec G.711 se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Estructura del códec G.711.



Nota. Tomado de *Dimensionamiento de una central telefónica IP utilizando estándares abiertos y software libre para la empresa Conectividad Global*, Vasco M., 2010, EPN.

$$\text{Tamaño de la trama} = \text{Ethernet} + \text{IP} + \text{UDP} + \text{RTP} + \text{Payload G.711}$$

$$\text{Tamaño de la trama} = 38 + 20 + 8 + 12 + 160 = 238 \text{ bytes}$$

$$\text{Tamaño de la trama en bits} = 238 \text{ bytes} \times 8 = 1904 \frac{\text{bits}}{\text{trama}}$$

$$BW_{requerido} = 1904 \frac{\text{bits}}{\text{trama}} \times 50 \frac{\text{tramas}}{\text{s}} = 95200 \frac{\text{bits}}{\text{s}} = 95.2 \text{ kbps}$$

Con el ancho de banda requerido para cada llamada se calcula el máximo número de llamadas simultáneas para el enlace con acceso a internet de 25 Mbps.

$$\text{Tamaño de la trama en bits} = 238 \text{ bytes} \times 8 = 1904 \frac{\text{bits}}{\text{trama}}$$

$$\# \text{ llamadas simultáneas}_{max} = \frac{BW_{disponible}}{BW_{requerido}} = \frac{25 \text{ Mbps}}{95.2 \text{ kbps}} \approx 263 \text{ llamadas}$$

4.2. Configuración de SIPp

Para el análisis del desempeño del sistema de VoIP Asterisk implementado sobre el servidor físico y sobre el servidor remoto se utiliza el software libre SIPp el cual se encuentra descrito en el Capítulo II y su instalación se muestra en la sección anexos, Anexo D.

Para el uso de SIPp se debe crear una extensión que debe ser configurada en los archivos *sip.conf* y *extensions.conf* como se muestra en la Figura 21 y 22 respectivamente.

Figura 21

Configuración de la extensión SIPp en *sip.conf*.

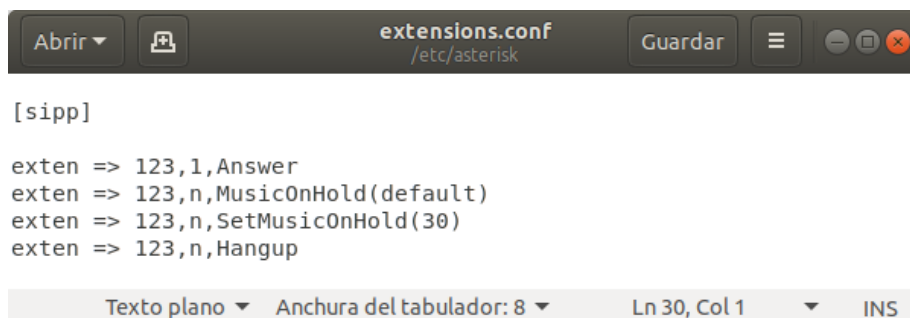


```
[sipp]
type=friend
qualify=yes
nat=no
context=sipp
host=dynamic
user=sipp
insecure=invite, port
canreinvite=no
disallow=all
allow=ulaw
allowguest=yes
```

Texto plano ▾ Anchura del tabulador: 8 ▾ Ln 66, Col 1 ▾ INS

Figura 22

Configuración de la extensión SIPp en *extensions.conf*.



```

[sipp]

exten => 123,1,Answer
exten => 123,n,MusicOnHold(default)
exten => 123,n,SetMusicOnHold(30)
exten => 123,n,Hangup
  
```

Texto plano ▾ Anchura del tabulador: 8 ▾ Ln 30, Col 1 ▾ INS

La configuración de la extensión o usuario sipp en el archivo *sip.conf* es de la misma manera que las extensiones mostradas en el Capítulo III, con la diferencia de que el parámetro de seguridad *allowguest* se habilita con el indicador *yes*, debido a que dicha extensión no tiene ninguna contraseña y de esta manera la central telefónica permite que se realicen llamadas sin ningún tipo de autenticación. La configuración de la extensión sipp en el archivo *extensions.conf* indica que todas las llamadas entrantes a la extensión 123 se atienden, se activa música de espera por defecto, en este caso es el tono de Asterisk durante 30 segundos y por último se cuelga la llamada.

La generación de tráfico a través del software SIPp se realiza a través del siguiente comando:

```
./sipp -sn uac -s 123 192.168.100.40 -d 120000 -l 50 -m 50 -r 10 -rp 1000
```

- **-sn:** Esta opción permite establecer un escenario predeterminado, el mismo que debe estar dentro del archivo ejecutable SIPp, en este caso se carga el escenario Standard SipStone UAC (*User Agent Client*).
- **-s:** Mediante esta opción se establece el número de extensión hacia dónde va dirigido el tráfico de llamadas, seguido de la dirección IP del servidor de telefonía Asterisk, en este caso el número de extensión es 123, la dirección IP privada del

servidor físico es 192.168.100.40 y la dirección IP pública del servidor remoto es 40.124.49.55.

- **-l:** A través de esta opción se establece el número máximo de llamadas simultáneas.
- **-d:** Por medio de esta opción se controla la duración de las llamadas en milisegundos.
- **-m:** Con esta opción se establece el número de llamadas que se van a generar, la prueba termina cuando estas llamadas son procesadas por el servidor de telefonía.
- **-r:** A través de esta opción se establece la tasa de llamadas, es decir, el número de llamadas que se generarán por segundo. Este valor puede ser variado durante la prueba.
- **-rp:** Esta opción establece el periodo de llamadas y la unidad con la que trabaja es milisegundos. Esta opción trabaja directamente con la opción *-r*, por ejemplo: *-r n -rp m* indica que se generan *n* llamadas cada *m* milisegundos.

4.3. Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor físico

En el primer escenario se implementó una máquina virtual en el servidor físico y en el segundo escenario se utilizó otro computador, para generar las llamadas simultáneas en ambos casos. En la Figura 23 se muestra la generación de 50 llamadas simultáneas con el uso del software SIPp.

Figura 23

Resultados de generación de 45 llamadas simultáneas.

```

root@mario-VirtualBox: /opt/sipp-3.3
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
----- Test Terminated -----
----- Scenario Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Call-rate(length) Port Total-time Total-calls Remote-host
10.0(120000 ms)/1.000s 5060 125.00 s 50 192.168.100.40:5060(UDP)

Call limit reached (-m 50), 0.000 s period 0 ms scheduler resolution
0 calls (limit 50) Peak was 50 calls, after 5 s
0 Running, 51 Paused, 0 Woken up
0 dead call msg (discarded) 0 out-of-call msg (discarded)
1 open sockets

Messages Retrans Timeout Unexpected-Msg
INVITE -----> 50 0 0
100 <----- 50 0 0
180 <----- 0 0 0
183 <----- 0 0 0
200 <----- E-RTD1 50 0 0
ACK -----> 50 0
Pause [ 2:00] 50
BYE -----> 50 0 0
200 <----- 50 0 0

```

En la Figura 24 se muestra estadísticas de la prueba realizada como la fecha y hora de inicio y fin de la prueba, el número de llamadas realizadas, falladas y exitosas, y la duración de las llamadas, la cual es de dos minutos que representa la duración promedio de una llamada telefónica como se indica en (Nación, 2014).

Figura 24

Estadísticas de generación de 45 llamadas simultáneas.

```

root@mario-VirtualBox: /opt/sipp-3.3
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
----- Statistics Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Start Time      | 2020-04-11  18:24:43:003  1586647483.003328
Last Reset Time | 2020-04-11  18:26:48:012  1586647608.012647
Current Time    | 2020-04-11  18:26:48:016  1586647608.016382
-----+-----+-----
Counter Name    | Periodic value           | Cumulative value
-----+-----+-----
Elapsed Time    | 00:00:00:003            | 00:02:05:013
Call Rate       | 0.000 cps               | 0.400 cps
-----+-----+-----
Incoming call created | 0                       | 0
OutGoing call created | 0                       | 50
Total Call created  |                          | 50
Current Call      | 0                       |
-----+-----+-----
Successful call    | 0                       | 50
Failed call       | 0                       | 0
-----+-----+-----
Response Time 1   | 00:00:00:000           | 00:00:00:000
Call Length      | 00:00:00:000           | 00:02:00:004

```

Para determinar el desempeño del servidor físico de manera objetiva se debe analizar el porcentaje de consumo de CPU y el porcentaje de consumo de Memoria RAM del servidor durante la generación de las llamadas simultáneas. Se realizó 5 mediciones con diferente número de llamadas con el fin de reducir el error cuadrático medio y encontrar una relación entre el número de llamadas y el desempeño del servidor. Para obtener dichos porcentajes se insertó el comando *top* en un terminal del servidor físico. La Figura 25 muestra el resultado del comando *top*.

Figura 25

Porcentaje de consumo de CPU y Memoria.

```

root@mario-Inspiron-5559: /home/mario
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
top - 01:58:46 up 11 min, 1 user, load average: 1,31, 1,18, 0,82
Tareas: 256 total, 1 ejecutar, 203 hibernar, 0 detener, 0 zombie
%Cpu(s): 9,5 usuario, 11,7 sist, 0,9 adecuado, 76,4 inact, 0,0 en espera, 0,0 ha
KiB Mem : 16314752 total, 11626932 libre, 3294984 usado, 1392836 búfer/caché
KiB Intercambio: 487420 total, 487420 libre, 0 usado. 12426716 dispo Mem

```

PID	USUARIO	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	HORA+	ORDEN
1281	asterisk	20	0	3312476	84044	38312	S	39,3	0,5	1:53.07	asterisk
2523	mario	20	0	5020864	1,044g	0,977g	S	27,1	6,7	2:47.53	VirtualBoxVM
1842	mario	20	0	3896308	296560	118020	S	1,3	1,8	0:22.87	gnome-shell
1601	mario	20	0	1204268	101764	75568	S	1,0	0,6	0:13.95	Xorg
2457	mario	20	0	912872	26288	21188	S	0,7	0,2	0:02.08	VBoxSVC
2650	root	20	0	44600	3952	3212	R	0,7	0,0	0:02.73	top
54	root	20	0	0	0	0	I	0,3	0,0	0:00.15	kworker/u8:1
1286	kernoops	20	0	56944	424	0	S	0,3	0,0	0:00.02	kerneloops
1	root	20	0	225684	9452	6780	S	0,0	0,1	0:01.41	systemd
2	root	20	0	0	0	0	S	0,0	0,0	0:00.00	kthreadd
3	root	20	0	0	0	0	I	0,0	0,0	0:01.09	kworker/0:0
4	root	0	-20	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.00	kworker/0:0H
5	root	20	0	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.13	kworker/u8:0
6	root	0	-20	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.00	mm_percpu_wq
7	root	20	0	0	0	0	S	0,0	0,0	0:00.04	ksoftirqd/0
8	root	20	0	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.98	rcu_sched
9	root	20	0	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.00	rcu_bh

4.3.1. Escenario con una Máquina Virtual para la generación de tráfico

En el primer escenario, con el uso del servidor físico y una máquina virtual para la generación de tráfico los resultados del porcentaje del consumo del CPU se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Consumo del CPU en el servidor físico dentro del primer escenario.

Llamadas Simultáneas	% Consumo del CPU					% Consumo Promedio del CPU
10	10,6	10,6	10,9	11,3	11,2	10,92
30	24,8	25,4	25,1	25,1	25,2	25,12
50	38,3	39,3	39,6	39,9	38,9	39,2
90	65,4	64,6	64,1	63,7	64,7	64,5
120	89,8	93,7	90,1	90,8	91,8	91,24

En el primer escenario, con el uso del servidor físico y una máquina virtual para la generación de tráfico los resultados del porcentaje del consumo de la Memoria RAM se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Consumo de Memoria RAM en el servidor físico dentro del primer escenario.

Llamadas Simultáneas	% Consumo de Memoria					% Consumo Promedio de Memoria
10	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
30	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
50	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
90	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
120	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

4.3.2. Análisis QoS escenario con una Máquina Virtual para generar tráfico

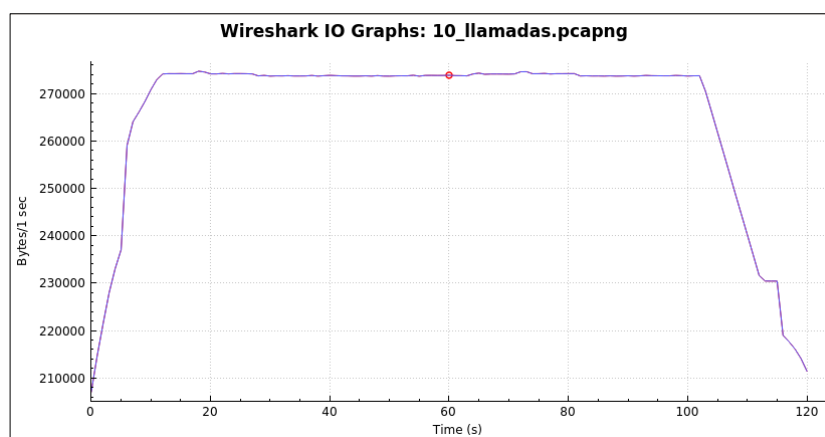
Para analizar las métricas de calidad de servicio del sistema de VoIP se realizaron 4 pruebas, cada una de ellas con diferente número de llamadas simultáneas generadas por SIPp y una llamada entre dos terminales. De la llamada realizada entre los terminales se analiza los parámetros de QoS con el software de análisis de tráfico Wireshark. Las pruebas se realizaron con 10, 50, 120 y 150 llamadas simultáneas para comparar la calidad de servicio cuando el sistema de VoIP trabaja con su mínima, media, máxima y excede su capacidad de operación. Para realizar la llamada entre los terminales se utiliza una aplicación de telefonía IP denominada Zoiper Beta.

- **10 Llamadas simultáneas**

En la Figura 26 se muestra el tráfico RTP en color rojo que atraviesa la central telefónica y el tráfico TCP en color azul que generan las llamadas simultáneas y la llamada entre ambos terminales, ya que dicho protocolo asegura la entrega de todos los paquetes enviados y en el orden correcto. La gráfica se representa en bytes por segundo.

Figura 26

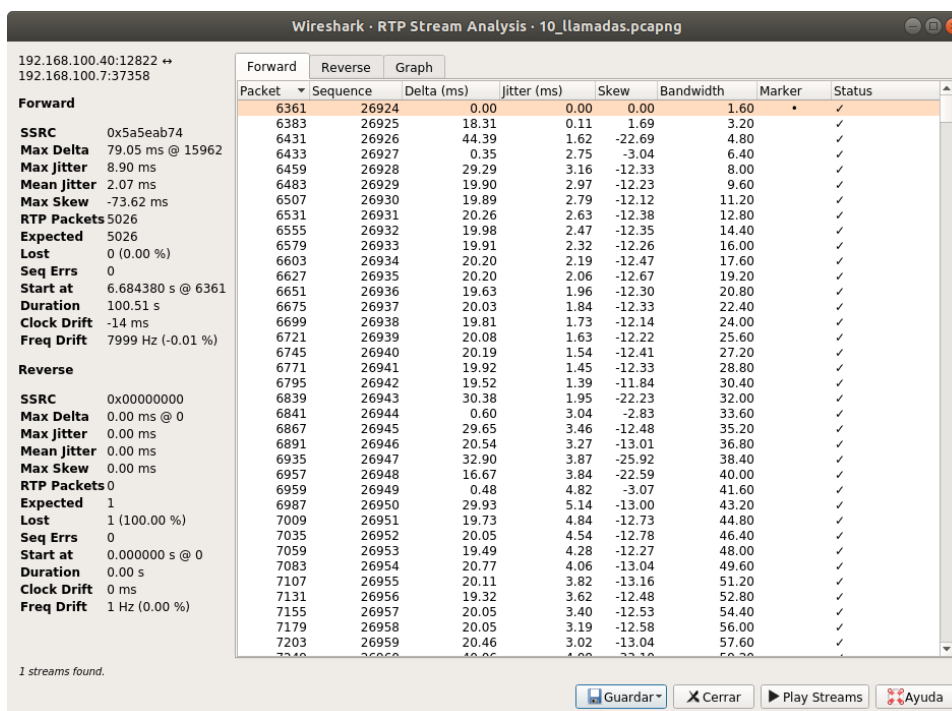
Tráfico RTP y TCP con 10 llamadas simultáneas.



En la Figura 27 se muestra la trama de la llamada realizada entre los terminales para analizar las métricas de calidad de servicio como Jitter, Latencia o Delta y Porcentaje de Paquetes Perdidos.

Figura 27

Análisis de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.



En la Tabla 10 se muestran los valores obtenidos de la Figura 27, la calidad de VoIP de cada una de las métricas de QoS y la calificación equivalente del MOS.

Tabla 10

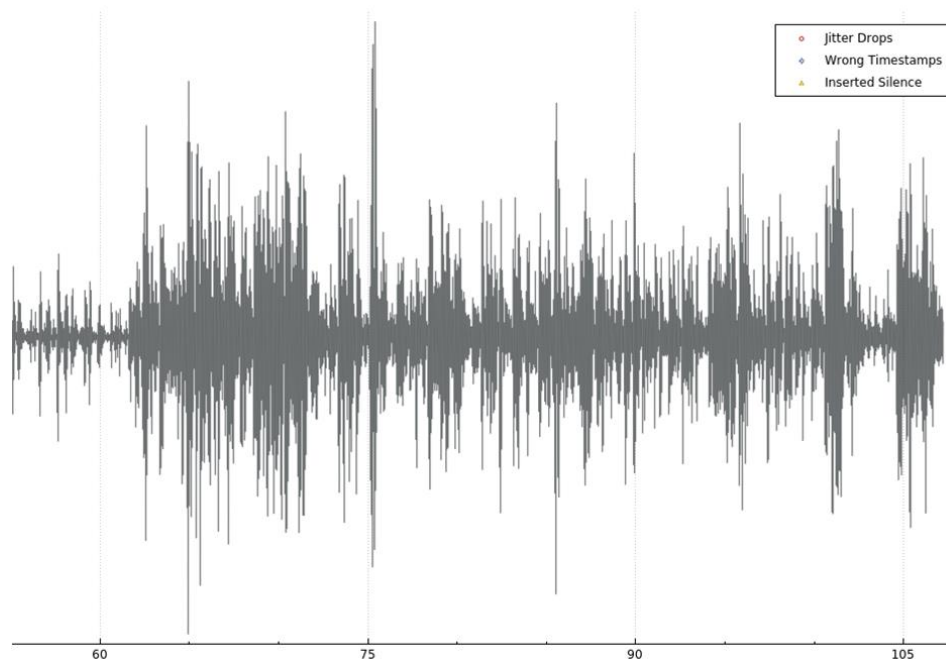
Análisis de QoS con 10 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	8,90	Excelente	
Latencia (ms)	79,05	Bueno	Excelente
Paquetes Perdidos (%)	0	Excelente	

En la Figura 28 se muestra la forma de onda de la llamada entre los terminales, debido a que la calificación MOS es Excelente la forma de onda no presenta silencios insertados y es nítida.

Figura 28

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.



- **50 Llamadas simultáneas**

En la Figura 29 se muestra la gráfica en bytes por segundo del tráfico RTP en color rojo y el tráfico TCP en color azul cuando se generan 50 llamadas simultáneas y una llamada real.

Figura 29

Tráfico RTP y TCP con 50 llamadas simultáneas.

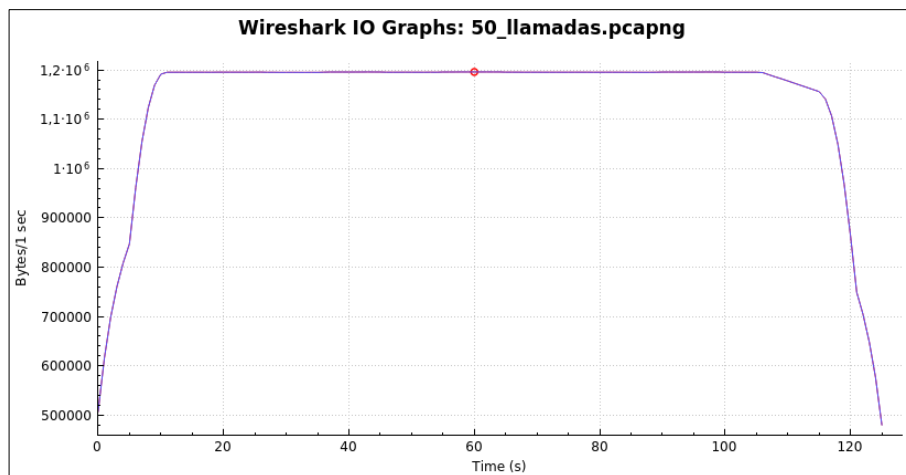
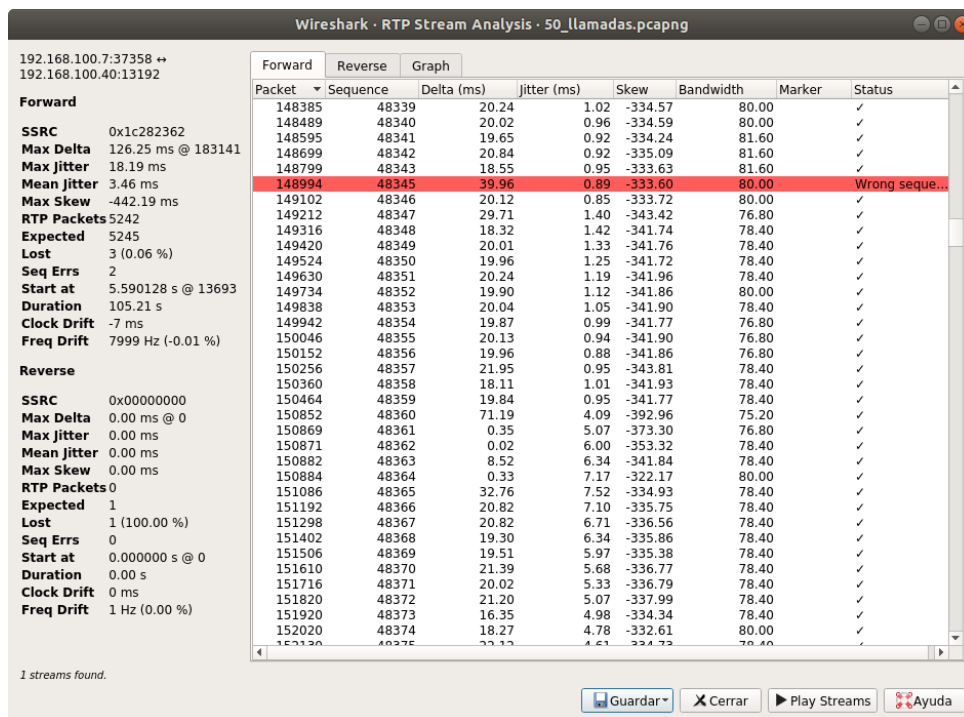


Figura 30

Análisis de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.



En la Figura 30 se muestra la trama de la llamada realizada entre los terminales durante las 50 generadas con el fin de analizar las métricas de calidad de servicio. En la

Tabla 11 se muestran los valores obtenidos de la Figura 30, la calidad de VoIP de las métricas de QoS y la calificación MOS.

Tabla 11

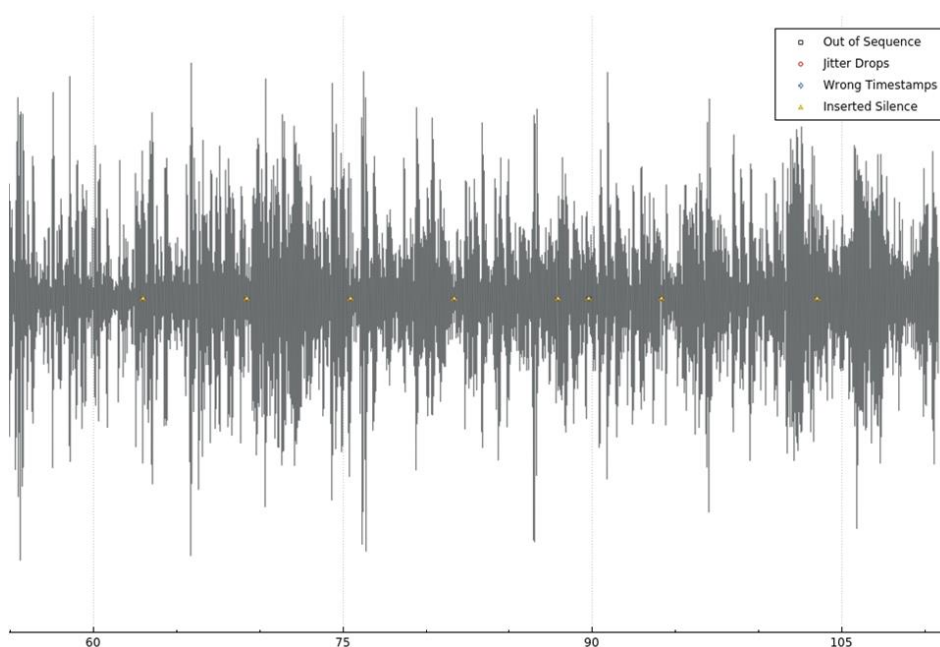
Análisis de QoS con 50 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	18,19	Bueno	
Latencia (ms)	126,25	Bueno	Bueno
Paquetes Perdidos (%)	0,06	Excelente	

En la Figura 31 se muestra la forma de onda de la llamada entre los terminales, debido a que el Jitter y la Latencia tienen una calidad menor al caso anterior la forma de onda presenta varios silencios insertados que no son percibidos por el oído humano.

Figura 31

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.



- **120 Llamadas simultáneas**

En la Figura 32 se muestra la gráfica en bytes por segundo del tráfico RTP en color rojo y el tráfico TCP en color azul, ambos protocolos trabajan con la misma cantidad de datos.

Figura 32

Tráfico RTP y TCP con 120 llamadas simultáneas.

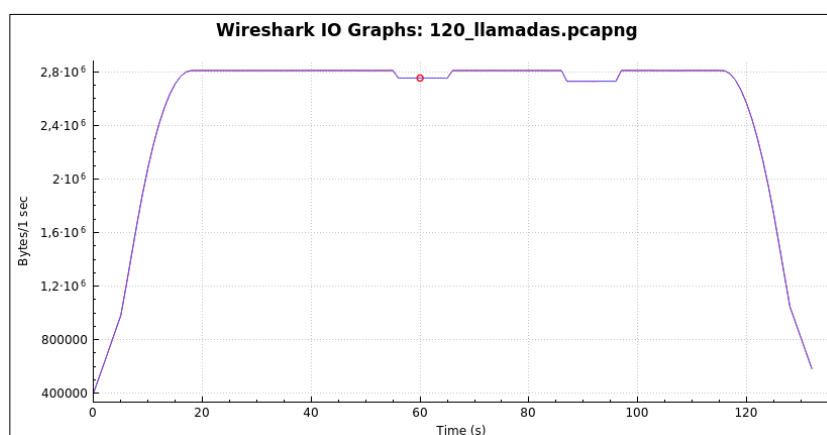


Figura 33

Análisis de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.

Wireshark · RTP Stream Analysis · 120_llamadas.pcapng

192.168.100.7:37358 ↔
192.168.100.40:17328

Forward

SSRC 0x6e3ab4ee
Max Delta 320.40 ms @ 1034871
Max Jitter 23.90 ms
Mean jitter 6.38 ms
Max Skew -572.26 ms
RTP Packets 5748
Expected 5775
Lost 27 (0.47 %)
Seq Errs 4
Start at 6.308069 s @ 14838
Duration 115.92 s
Clock Drift -25 ms
Freq Drift 7998 Hz (-0.02 %)

Reverse

SSRC 0x00000000
Max Delta 0.00 ms @ 0
Max Jitter 0.00 ms
Mean jitter 0.00 ms
Max Skew 0.00 ms
RTP Packets 0
Expected 1
Lost 1 (100.00 %)
Seq Errs 0
Start at 0.000000 s @ 0
Duration 0.00 s
Clock Drift 0 ms
Freq Drift 1 Hz (0.00 %)

1 streams found.

Packet	Sequence	Delta (ms)	Jitter (ms)	Skew	Bandwidth	Marker	Status
212270	53007	1.02	5.81	-434.24	81.60		✓
212520	53008	29.91	6.07	-444.14	81.60		✓
213004	53009	30.13	6.32	-454.28	81.60		✓
213250	53010	30.30	6.57	-464.58	80.00		✓
213453	53011	4.21	7.15	-448.79	81.60		✓
213740	53012	24.62	6.99	-453.41	80.00		✓
214226	53014	39.91	6.56	-453.32	80.00		Wrong sequen
214228	53015	0.44	7.37	-433.76	81.60		✓
214474	53016	30.30	7.55	-444.06	80.00		✓
214962	53017	29.18	7.66	-453.24	80.00		✓
215305	53018	33.96	8.05	-467.21	78.40		✓
215450	53019	4.46	8.52	-451.67	80.00		✓
215694	53020	21.94	8.11	-453.61	78.40		✓
215938	53021	19.68	7.62	-453.29	80.00		✓
216186	53022	20.07	7.15	-453.36	80.00		✓
216430	53023	20.20	6.71	-453.56	80.00		✓
216674	53024	20.23	6.31	-453.79	80.00		✓
216918	53025	19.63	5.94	-453.42	80.00		✓
217162	53026	20.02	5.57	-453.44	78.40		✓
217410	53027	19.93	5.22	-453.37	80.00		✓
217654	53028	20.38	4.92	-453.75	80.00		✓
217898	53029	19.62	4.64	-453.37	80.00		✓
218384	53030	37.50	5.44	-470.87	78.40		✓
218456	53031	14.56	5.44	-465.43	78.40		✓
218676	53032	19.86	5.11	-465.29	78.40		✓
218716	53033	0.45	6.01	-445.74	80.00		✓
219122	53034	27.50	6.11	-453.24	80.00		✓
219366	53035	20.17	5.73	-453.42	78.40		✓
219610	53036	19.82	5.39	-453.24	78.40		✓
219858	53037	20.36	5.07	-453.60	80.00		✓
220200	53038	33.22	5.58	-466.83	78.40		✓
220217	53039	0.38	6.46	-447.21	80.00		✓
220590	53040	26.09	6.44	-453.30	80.00		✓
220592	53041	0.41	7.26	-433.70	81.60		✓
220952	53042	33.48	7.65	-447.19	80.00		✓
221326	53043	37.43	7.65	-454.03	80.00		✓

Guardar Cerrar Play Streams Ayuda

En la Figura 33 se muestra la trama de la llamada realizada entre los terminales durante las 120 llamadas simultáneas generadas. La Tabla 12 muestra los valores obtenidos de la Figura 33.

Tabla 12

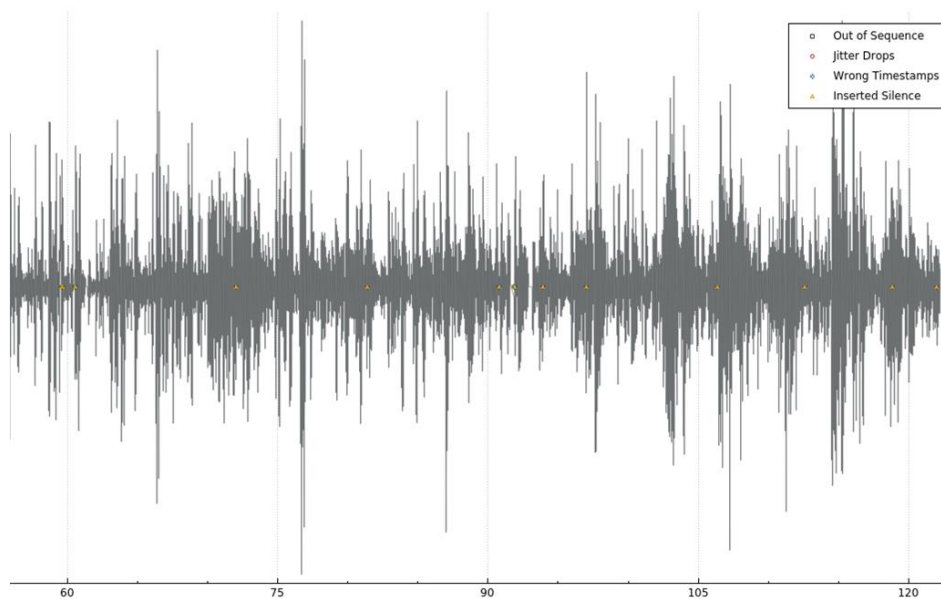
Análisis de QoS con 120 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	23,90	Aceptable	
Latencia (ms)	320,40	Pobre	Aceptable
Paquetes Perdidos (%)	0,47	Bueno	

En la Figura 34 se muestra la forma de onda de la llamada entre los terminales, debido a que el Jitter y la Latencia tienen un mayor valor al caso anterior la forma de onda presenta mayor número de silencios insertados que no afectan a la comunicación ya que el número de llamadas simultáneas se encuentra dentro de la capacidad del servidor físico.

Figura 34

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.



- **150 Llamadas simultáneas**

En la Figura 35 se muestra el tráfico RTP en color rojo y el tráfico TCP en color azul, existe un decrecimiento de tráfico RTP y TCP en los intervalos de 60 a 70 segundos y de 90 a 100 segundos.

Figura 35

Tráfico RTP y TCP con 150 llamadas simultáneas.

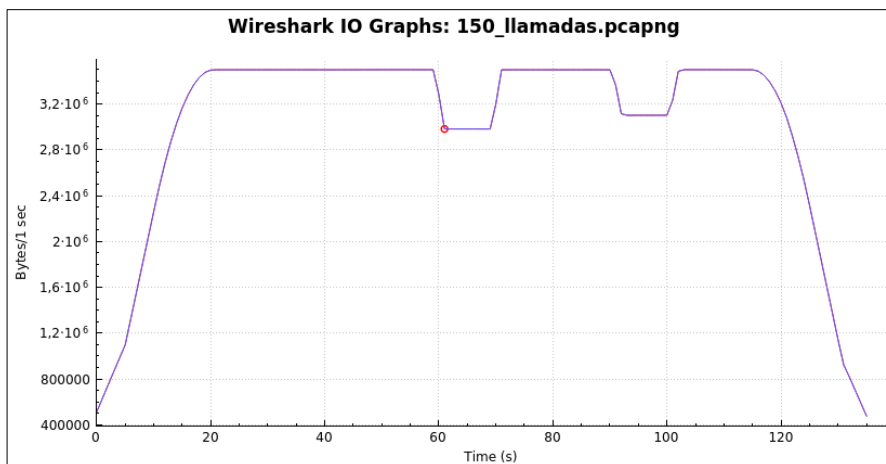
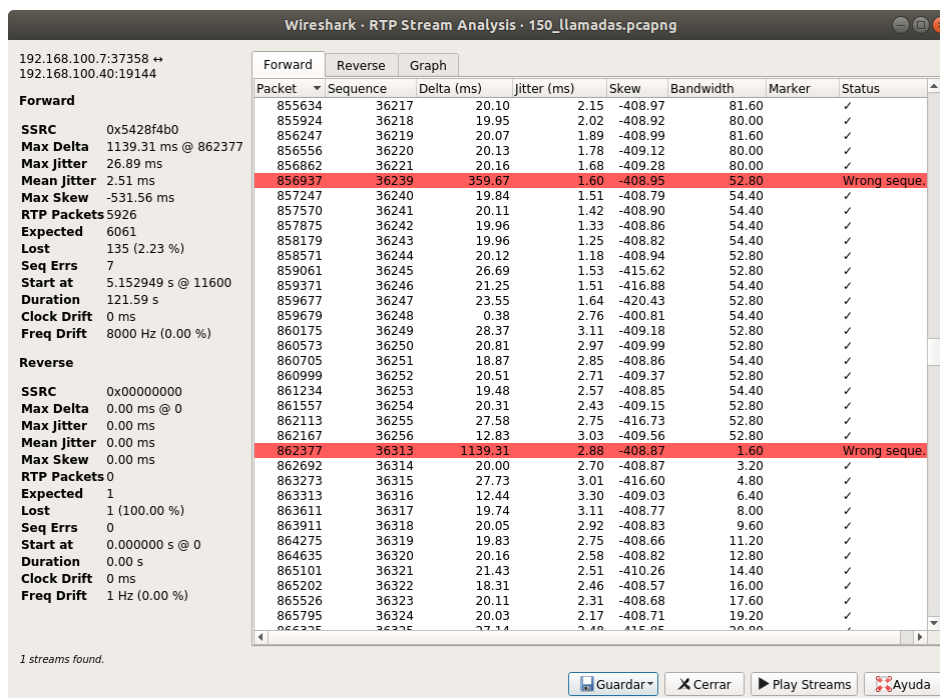


Figura 36

Análisis de la llamada entre terminales durante las 150 generadas.



En la Figura 36 se muestra la trama de la llamada realizada entre los terminales durante las 150 llamadas simultáneas. De los 2,23 % o 135 Paquetes Perdidos durante dicha llamada se resaltan dos de ellos de color rojo en la figura mencionada. La Tabla 13 muestra los valores de las métricas de QoS, obtenidos de la Figura 36, con su respectiva clasificación de Calidad de VoIP y la calificación MOS total.

Tabla 13

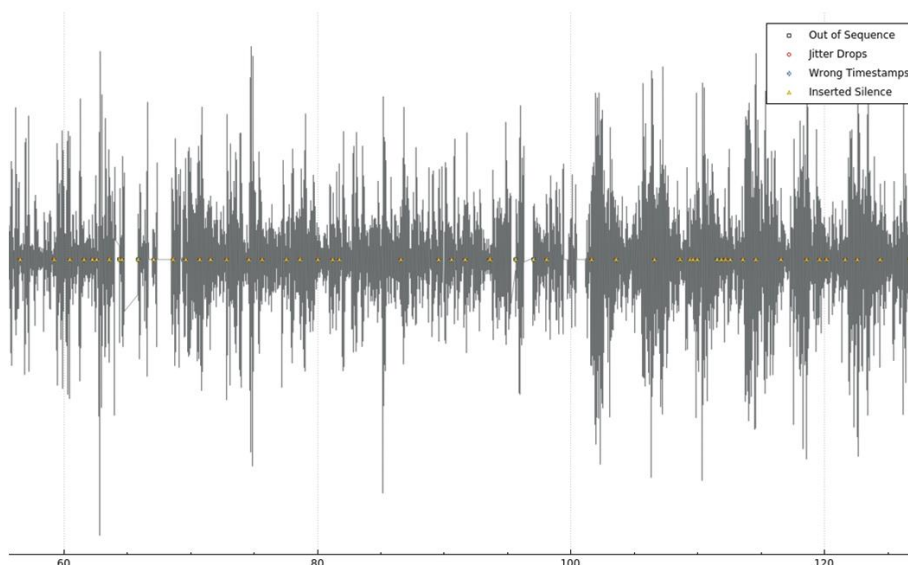
Análisis de QoS con 150 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	26,89	Aceptable	
Latencia (ms)	1139,31	Pobre	Pobre
Paquetes Perdidos (%)	2,23	Pobre	

En la Figura 37 se muestra la forma de onda de la llamada entre los terminales, debido a que todas las métricas de QoS tienen un mayor valor a los casos anteriores y por ende una menor Calidad de VoIP. La forma de onda presenta una gran cantidad de silencios insertados que degradan la señal de audio y dificulta la inteligibilidad para el usuario afectando la comunicación. Como se puede observar cuando se generan mayor cantidad de llamadas simultáneas las métricas de QoS tienden a tener un valor mayor afectando la calidad de VoIP. En los casos con 10, 50 y 120 llamadas simultáneas se asegura la calidad de servicio ya que la calificación MOS son de Excelente, Bueno y Aceptable respectivamente, lo que se ajusta a la capacidad de la central telefónica implementada en el servidor físico ya que su máxima capacidad es de 120 llamadas simultáneas con un consumo promedio del CPU de 91,24%. Con un valor de 150 llamadas simultáneas no se asegura la calidad de servicio ya que tiene una calificación MOS de Pobre y si aumentan las llamadas simultáneas la central telefónica descarta las llamadas en exceso.

Figura 37

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 150 generadas.



4.3.3. Escenario con un Computador para la generación de tráfico

En el segundo escenario, con el uso del servidor físico y un computador para la generación de tráfico los resultados del porcentaje del consumo del CPU se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14

Consumo del CPU en el servidor físico dentro del segundo escenario.

Llamadas Simultáneas	% Consumo del CPU					% Consumo Promedio del CPU
10	14,5	13,8	14,5	14,8	14,5	14,42
30	34,5	35	34,7	36,6	34,5	35,06
50	56,6	55,6	59,2	57,9	58,2	57,5
70	77,3	77,3	76,6	78,9	78,9	77,8
90	90,1	92,8	93,1	93,1	92,4	92,3

En el segundo escenario, con el uso del servidor físico y un computador para la generación de tráfico los resultados del porcentaje del consumo de Memoria RAM se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Consumo Memoria RAM en el servidor físico dentro del segundo escenario.

Llamadas Simultáneas	% Consumo de Memoria					% Consumo Promedio de Memoria
10	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
30	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
50	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
70	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
90	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

4.3.4. Análisis QoS del escenario con un Computador para la generación de tráfico

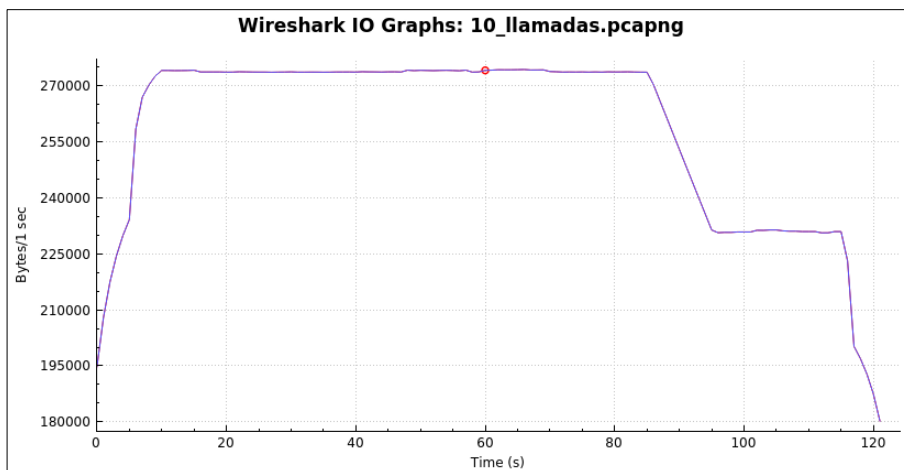
Para analizar las métricas de QoS se realizaron 4 pruebas con diferente número de llamadas simultáneas y una llamada entre dos terminales. Se analiza los parámetros de QoS de la llamada entre los terminales con el uso de Wireshark. El número de llamadas simultáneas durante las pruebas fueron de 10, 50, 90 y 120, con el fin de obtener una comparación de la calidad de servicio cuando el sistema de VoIP trabaja con su mínima, media, máxima y excede su capacidad de operación.

- **10 Llamadas simultáneas**

En la Figura 38 se muestra la gráfica en bytes por segundo del tráfico RTP en color rojo que atraviesa la central telefónica y el tráfico TCP en color azul que generan las 10 llamadas simultáneas y la llamada entre ambos terminales.

Figura 38

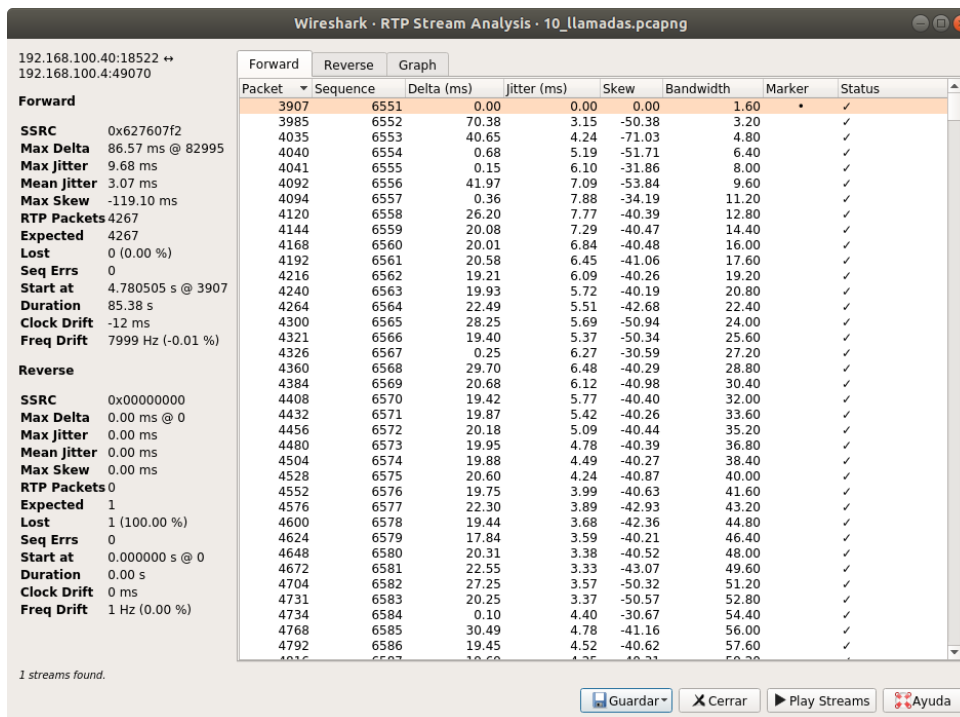
Tráfico RTP y TCP con 10 llamadas simultáneas.



La Figura 39 muestra las métricas de QoS de la llamada realizada entre los terminales como Jitter, Latencia y Porcentaje de Paquetes Perdidos.

Figura 39

Análisis de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.



La Tabla 16 muestra los valores obtenidos de la Figura 39, la calidad de VoIP de cada una de las métricas de QoS y la calificación MOS total.

Tabla 16

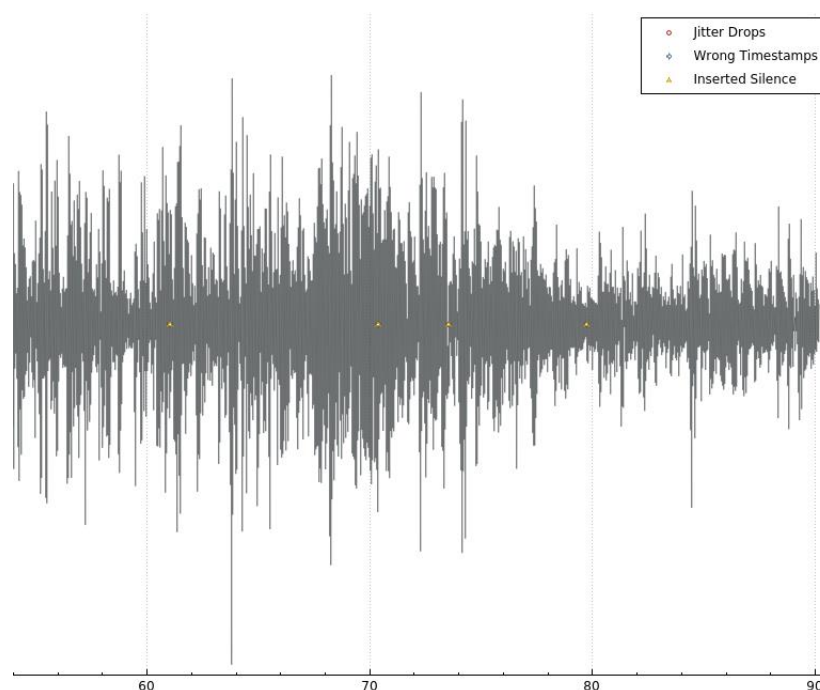
Análisis de QoS con 10 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	9,68	Excelente	
Latencia (ms)	86,57	Bueno	Excelente
Paquetes Perdidos (%)	0	Excelente	

La Figura 40 muestra la forma de onda de la llamada entre los terminales, ya que la calificación equivalente MOS es Excelente la forma de onda presenta pocos silencios insertados y es clara.

Figura 40

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.



- **50 Llamadas simultáneas**

La Figura 41 muestra el tráfico RTP en color rojo y el tráfico TCP en color azul cuando se generan 50 llamadas simultáneas y una llamada real. La gráfica se encuentra en bytes por segundo.

Figura 41

Tráfico RTP y TCP con 50 llamadas simultáneas.

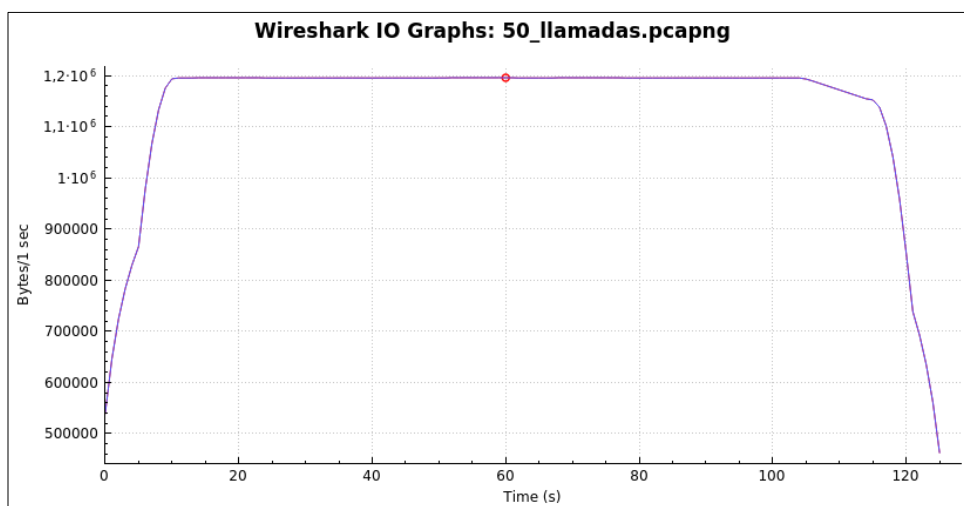
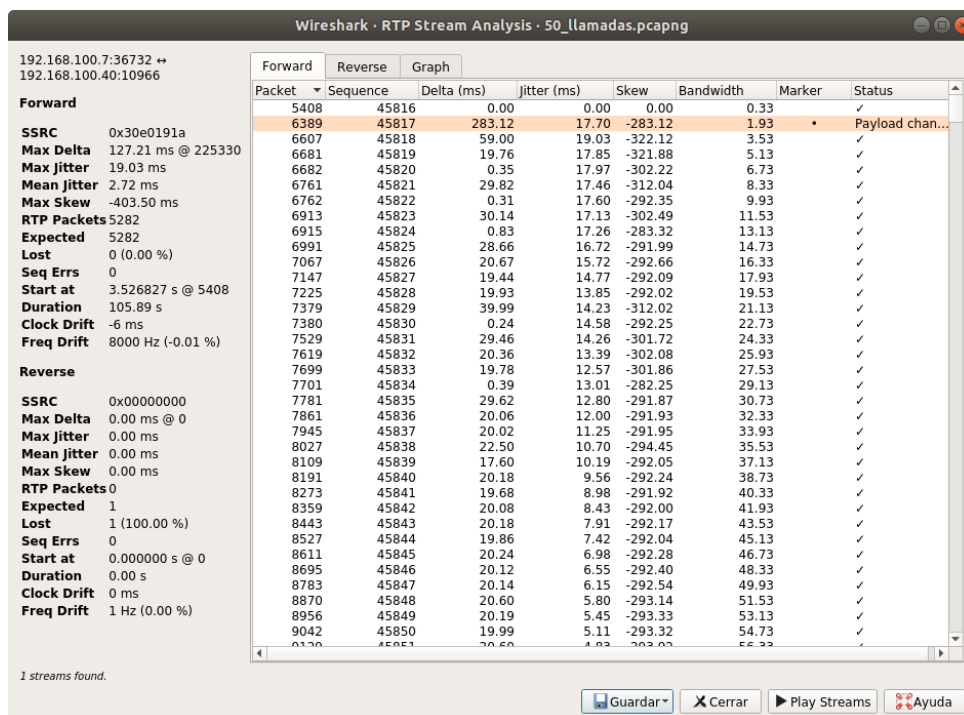


Figura 42

Análisis de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.



La Figura 42 muestra la trama de la llamada entre los terminales. La Tabla 17 muestra los valores obtenidos de la Figura 42, la calidad de las métricas de QoS y la calificación final MOS.

Tabla 17

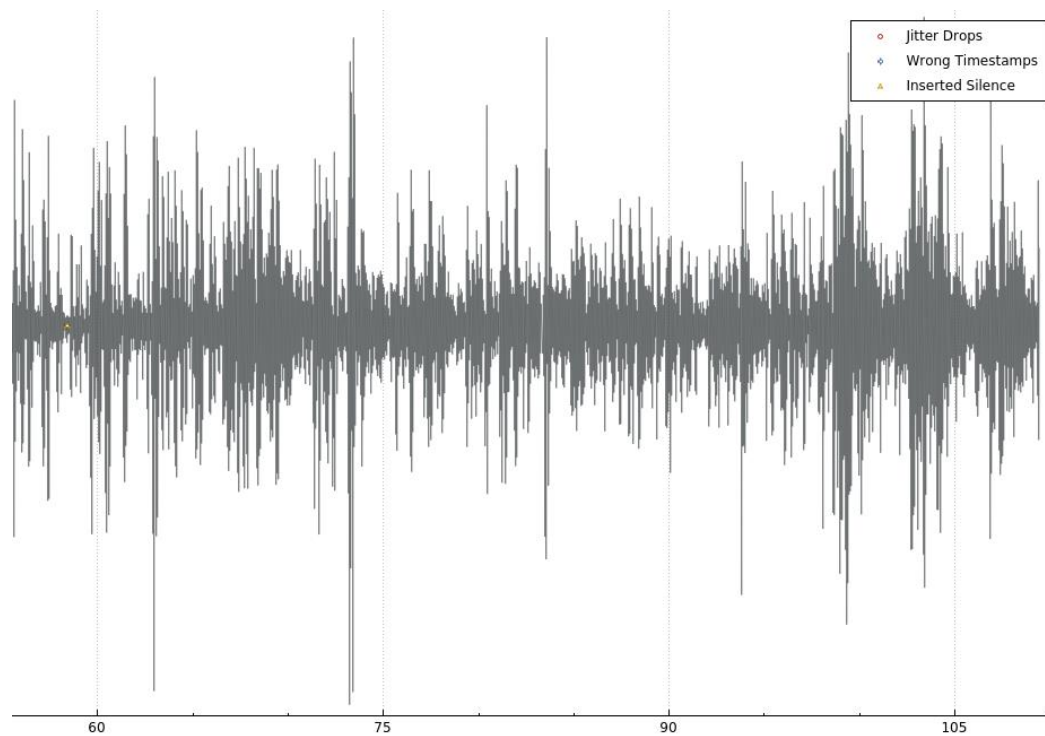
Análisis de QoS con 50 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	19,03	Bueno	
Latencia (ms)	127,21	Bueno	Bueno
Paquetes Perdidos (%)	0	Excelente	

La Figura 43 muestra la forma de onda de la llamada realizada entre los terminales durante las 50 generadas, dicha forma de onda presenta menor cantidad de silencios insertados al caso anterior y que no son detectados por el oído humano, pero la diferencia entre ambos casos es que el Jitter y la Latencia tienen una calidad menor.

Figura 43

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.



- **90 Llamadas simultáneas**

En la Figura 44 se muestra la gráfica en bytes por segundo del tráfico RTP en color rojo y el tráfico TCP en color azul, ambos protocolos tienen la misma cantidad de bytes.

Figura 44

Tráfico RTP y TCP con 90 llamadas simultáneas.

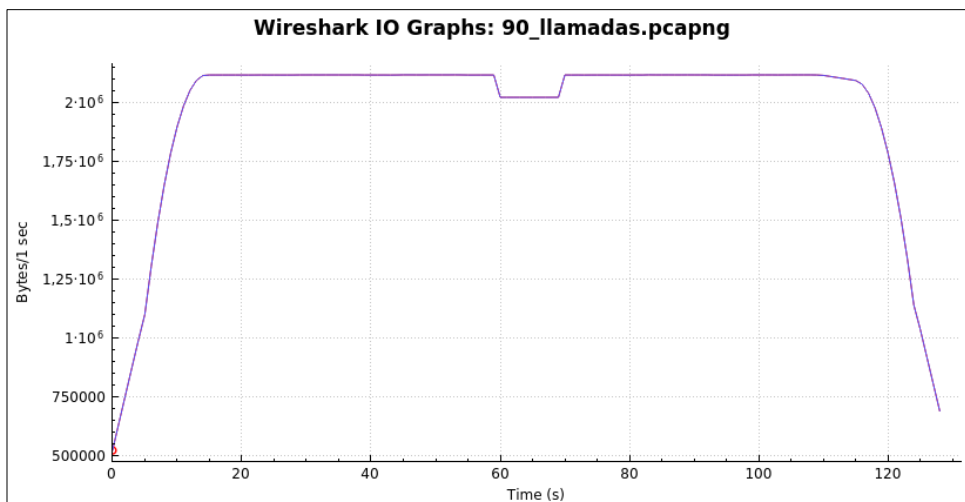
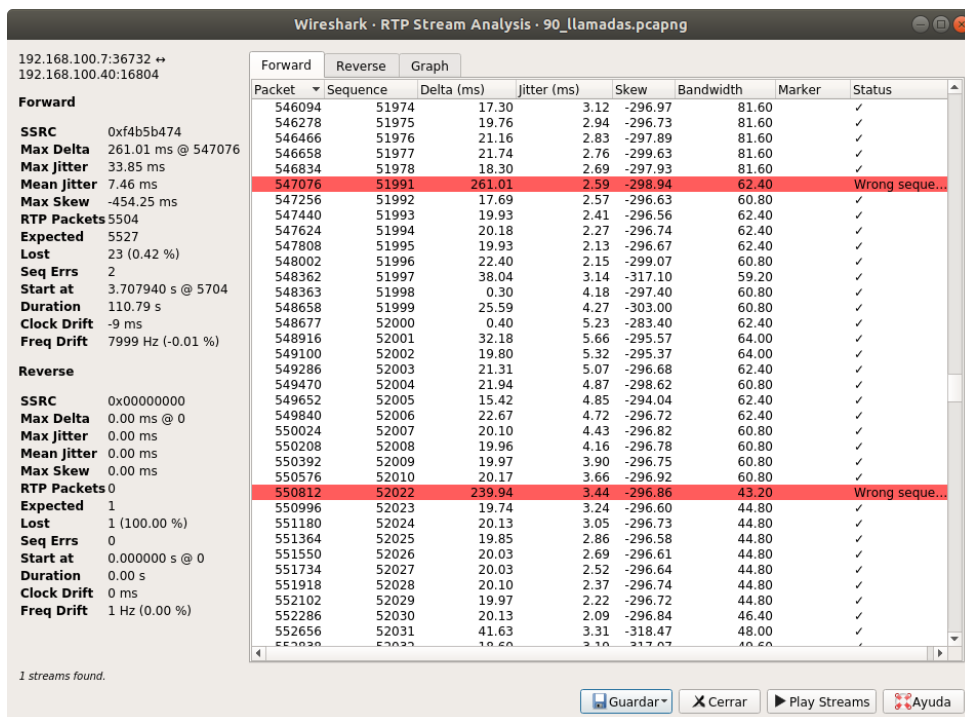


Figura 45

Análisis de la llamada entre terminales durante las 90 generadas.



La Figura 45 muestra las métricas de QoS de la llamada realizada entre los terminales durante las 90 llamadas simultáneas. Los paquetes resaltados de color rojo son parte de los Paquetes Perdidos durante la comunicación. La Tabla 18 muestra los valores obtenidos de la Figura 45.

Tabla 18

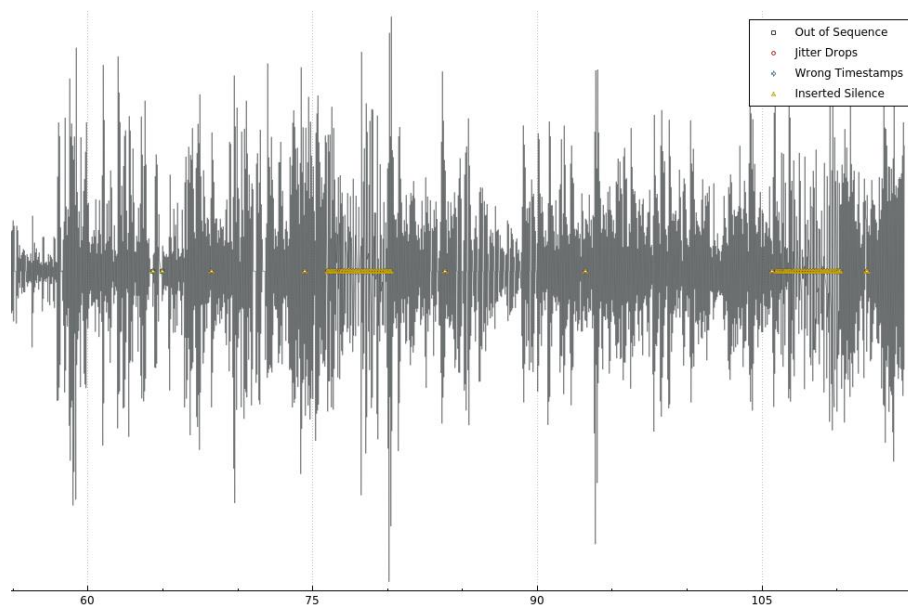
Análisis de QoS con 90 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	33,85	Aceptable	
Latencia (ms)	261,01	Aceptable	Aceptable
Paquetes Perdidos (%)	0,42	Bueno	

La Figura 46 muestra la forma de onda de la llamada entre los terminales, debido a que el Jitter y la Latencia tienen una calidad de VoIP Aceptable, la forma de onda presenta un gran número de silencios insertados que afectan de manera mínima la comunicación ya que la central telefónica opera dentro de su capacidad sin exceder la misma en el servidor físico.

Figura 46

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 90 generadas.



- **120 Llamadas simultáneas**

La Figura 47 muestra el tráfico RTP en color rojo y el tráfico TCP en color azul, existe un decrecimiento de ambos tráficos en los intervalos de 57 a 70 segundos y de 90 a 97 segundos.

Figura 47

Tráfico RTP y TCP con 120 llamadas simultáneas.

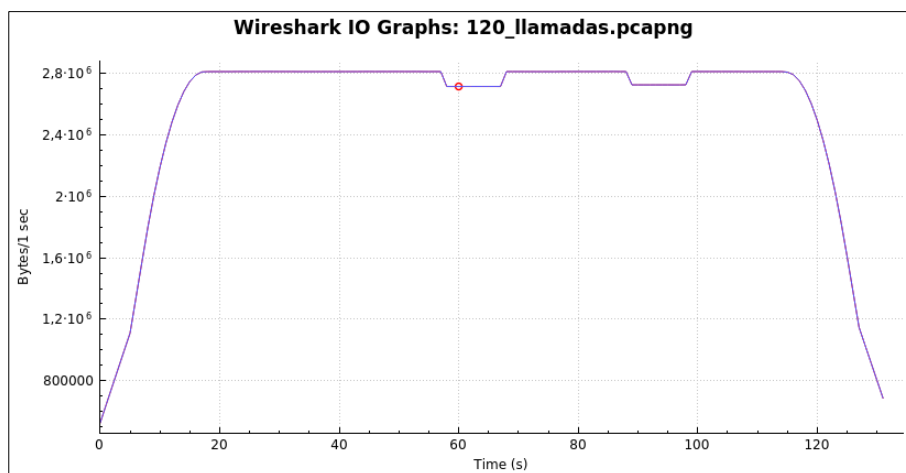
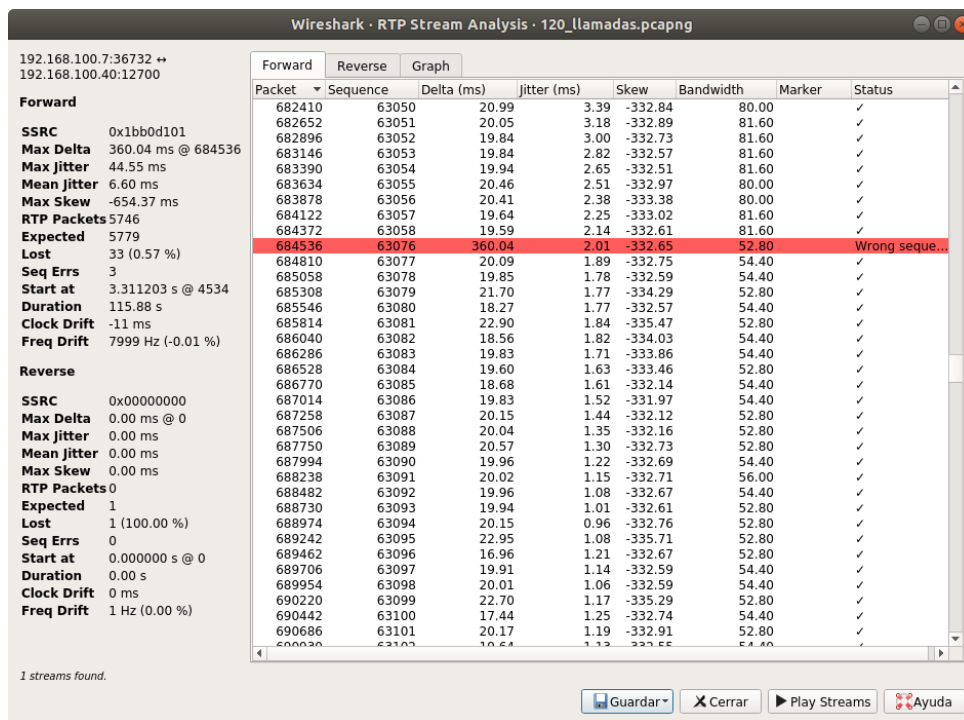


Figura 48

Análisis de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.



En la Figura 48 se muestra la trama de la llamada realizada entre los terminales durante las 120 llamadas simultáneas. La Tabla 19 muestra los valores de las métricas de calidad de servicio, obtenidos de la Figura 48, con su Calidad de VoIP y la calificación MOS equivalente.

Tabla 19

Análisis de QoS con 120 llamadas simultáneas.

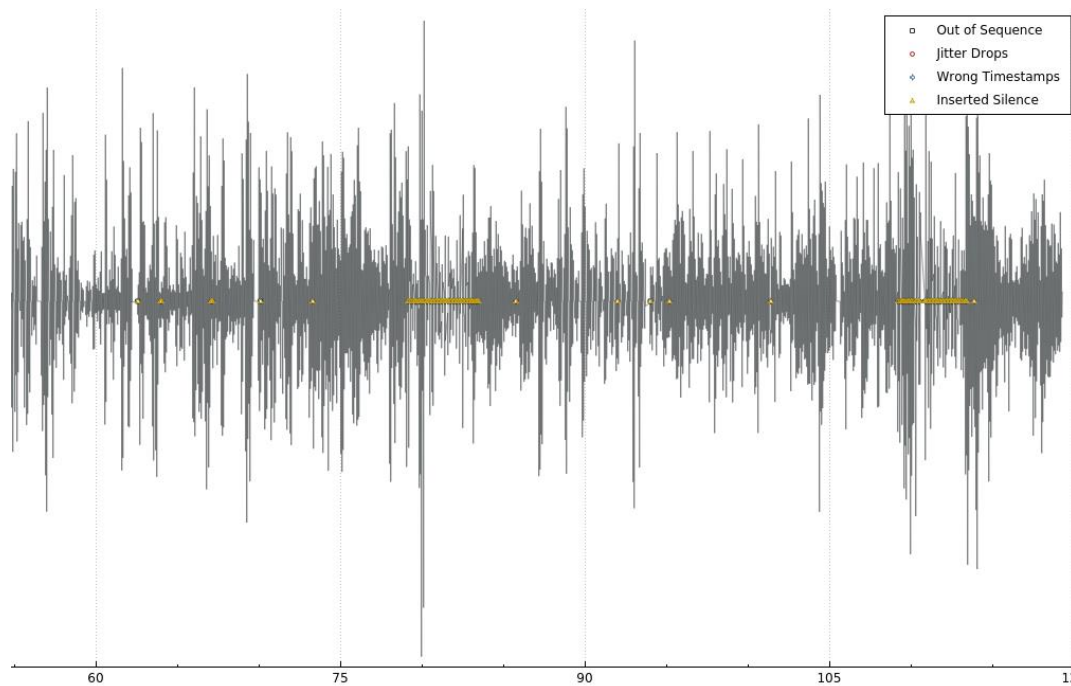
Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	44,55	Aceptable	
Latencia (ms)	360,04	Pobre	Pobre
Paquetes Perdidos (%)	0,57	Aceptable	

En la Figura 49 se muestra la forma de onda de la llamada entre los terminales, debido a que todas las métricas de QoS tienen una menor Calidad de VoIP. La forma de onda presenta una gran cantidad de silencios insertados que afectan de manera considerable la comunicación y dificulta la inteligibilidad para el usuario. Esto ocurre debido a que la central telefónica opera fuera de su capacidad en el servidor físico.

Al aumentar el número de llamadas simultáneas las métricas de calidad de servicio tienen una calidad de VoIP baja. Con 10, 50 y 90 llamadas simultáneas generadas desde un computador hacia la central telefónica implementada sobre el servidor físico se asegura el QoS debido a que las calificaciones MOS son Excelente, Bueno y Aceptable respectivamente. Dichas calificaciones MOS se ajustan a la capacidad de la central telefónica ya que su máxima capacidad es de 90 llamadas simultáneas con un consumo promedio del CPU de 92,3%. Con 120 llamadas simultáneas no se asegura el QoS, debido a que la calificación MOS es Pobre y al generar más de 150 llamadas simultáneas la central telefónica descarta las llamadas en exceso.

Figura 49

Forma de onda de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.



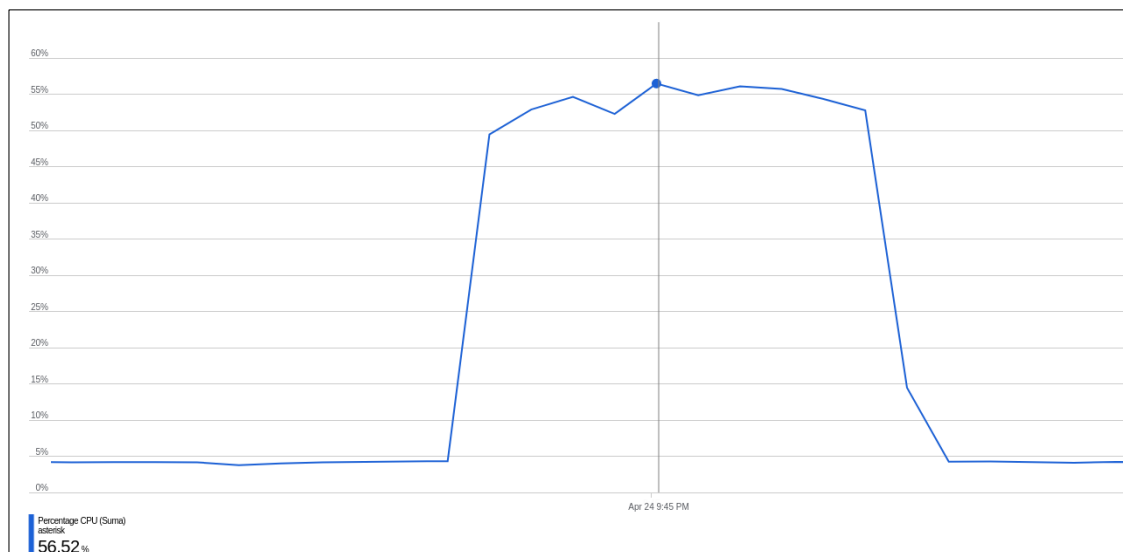
La capacidad de la central telefónica implementada sobre el servidor físico varía según la herramienta desde donde se generan las llamadas simultáneas, en el primer escenario se genera dichas llamadas desde una máquina virtual implementada dentro del mismo servidor físico, obteniendo un número máximo de 120 llamadas simultáneas con un porcentaje de consumo promedio en el CPU igual a 91,24% y en el segundo escenario se genera las llamadas desde un computador aparte del servidor físico, obteniendo un número máximo de 90 llamadas simultáneas con un porcentaje de consumo promedio en el CPU de 92,3%. En ambos escenarios al generar más de 150 llamadas simultáneas la central telefónica descarta las llamadas en exceso. El porcentaje de consumo de Memoria RAM no varía en ambos escenarios ya que únicamente se presentan valores de 0,5% y 0,6%, esto indica que la herramienta que se utiliza para generar llamadas simultáneas no generan variaciones en la Memoria RAM.

4.4. Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor remoto

La generación de las llamadas simultáneas dentro del tercer escenario fue con el uso de un computador. Para determinar el desempeño del servidor remoto de manera objetiva se debe analizar el porcentaje de consumo de CPU y el porcentaje de consumo de Memoria RAM durante la generación de las llamadas simultáneas. Se realizó 5 mediciones con diferente número de llamadas. Para obtener el consumo del CPU se utilizó el Portal de Microsoft Azure el cual brinda una gráfica de dicha métrica como se muestra en la Figura 50 y para obtener el consumo de Memoria RAM se debe insertar el comando `top` en un terminal del servidor remoto.

Figura 50

Porcentaje de consumo de CPU en el servidor remoto.



4.4.1. Escenario con un Computador para la generación de tráfico

En el tercer escenario, con el uso del servidor remoto y un computador para la generación de tráfico los resultados del porcentaje del consumo del CPU se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Consumo del CPU en el servidor remoto.

Llamadas Simultáneas	% Consumo del CPU					% Consumo
						Promedio del CPU
10	10,98	11,22	10,84	10,65	10,98	10,93
30	22,40	22,08	21,78	22,45	21,96	22,13
50	28,09	29,03	28,50	29,36	29,53	28,90
90	44,09	44,56	44,51	44,27	43,62	44,21
120	54,68	56,52	54,89	56,12	55,76	55,6

En el tercer escenario, con el uso del servidor remoto y un computador para la generación de tráfico los resultados del porcentaje del consumo de la Memoria RAM se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Consumo de Memoria RAM en el servidor remoto.

Llamadas Simultáneas	% Consumo de Memoria					% Consumo Promedio de
						Memoria
10	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
30	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
50	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
90	1	1	1	1	1	1
120	1	1	1	1	1	1

4.4.2. Análisis QoS del escenario con un Computador para generación de tráfico

Para analizar las métricas de calidad de servicio del sistema de VoIP implementado sobre un servidor remoto se realizaron 4 pruebas con diferente número de llamadas simultáneas y una llamada entre dos terminales. Para obtener el Jitter y Porcentaje de Paquetes Perdidos de la llamada realizada entre los terminales se utiliza el comando *show channelstats* dentro de la CLI de Asterisk y para obtener la Latencia de la misma llamada se generan pruebas de conectividad con el protocolo ICMP (*Internet Control Message Protocol*) desde los terminales hacia el servidor remoto con el uso de la aplicación Ping. Para activar dichas pruebas se debe habilitar una regla de seguridad dentro del servidor remoto como se muestra en la Figura 51.

Figura 51

Habilitación de puertos con el protocolo ICMP dentro del servidor remoto.

Prioridad	Nombre	Puerto	Protocolo	Origen	Destino	Acción	
300	▲ SSH	22	TCP	Cualquiera	Cualquiera	● Permitir	***
310	Asterisk	10000-20000	UDP	Cualquiera	Cualquiera	● Permitir	***
320	Port_5060	5060	UDP	Cualquiera	Cualquiera	● Permitir	***
330	Port_5061	5061	TCP	Cualquiera	Cualquiera	● Permitir	***
340	▲ Ping	Cualquiera	ICMP	Cualquiera	Cualquiera	● Permitir	***
65000	AllowVnetInBound	Cualquiera	Cualquiera	VirtualNetwork	VirtualNetwork	● Permitir	***
65001	AllowAzureLoadBalancerInBound	Cualquiera	Cualquiera	AzureLoadBalancer	Cualquiera	● Permitir	***
65500	DenyAllInBound	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	● Denegar	***

Para tener mayor seguridad dentro de la Máquina Virtual implementada en el servidor remoto, para evitar Advertencias en las Reglas de Seguridad SSH y Ping, y para evitar ataques a la central telefónica se debe establecer una IP de origen la cual debe ser la del ISP de la organización o institución. No es posible utilizar el software de análisis de tráfico Wireshark debido a que todas las tramas RTP enviadas al servidor remoto se encuentran encriptadas por la seguridad que brinda la plataforma Microsoft Azure y por ende no es posible obtener la forma de onda de la llamada entre los

terminales. Las pruebas se realizaron con 10, 50, 120 y 150 llamadas simultáneas para comparar la calidad de servicio cuando el sistema de VoIP trabaja con su mínima, media, máxima y excede su capacidad de operación. Al igual que el análisis del sistema de VoIP implementado en el servidor físico la llamada realizada entre los terminales se realiza con la aplicación Zoiper Beta.

- **10 Llamadas simultáneas**

En la Figura 52 se muestra el resultado del comando `sip show channelstats` de la llamada activa realizada entre los terminales para analizar las métricas de calidad de servicio como Jitter y Porcentaje de Paquetes Perdidos.

Figura 52

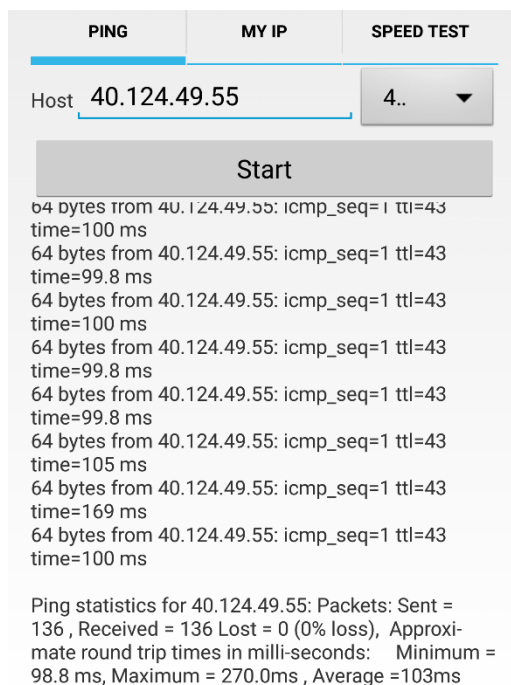
Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.

```
Asterisk*CLI> sip show channelstats
Peer          Call ID      Duration Recv: Pack  Lost      (   %) Jitter Send: Pack  Lost      (   %) Jitter
181.199.47.214 I8Pd98ALF_x 00:02:16 0000006779 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000006790 0000000001 ( 0.01%) 0.0007
181.199.47.214 42d88e695c7 00:02:16 0000006689 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000006703 0000000000 ( 0.00%) 0.0031
2 active SIP channels
Asterisk*CLI> █
```

La Figura 53 muestra las pruebas de conectividad de los terminales hacia al servidor remoto para analizar la Latencia promedio.

Figura 53

Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 10 generadas.



En la Tabla 22 se muestran los valores más críticos obtenidos de la Figura 52 y de la Figura 53, la calidad de VoIP de las métricas de QoS y la calificación MOS equivalente.

Tabla 22

Análisis de QoS con 10 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	3,1	Excelente	
Latencia (ms)	103	Bueno	Excelente
Paquetes Perdidos (%)	0,01	Excelente	

- **50 Llamadas simultáneas**

La Figura 54 muestra el Jitter y Porcentaje de Paquetes Perdidos de la llamada realizada entre los terminales durante las 50 llamadas simultáneas generadas con el uso del comando *sip show channelstats*.

Figura 54

Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.

```
Asterisk*CLI> sip show channelstats
Peer      Call ID      Duration Recv: Pack  Lost      (   %) Jitter Send: Pack  Lost      (   %) Jitter
181.199.47.214 529fed15358 00:02:32 0000007492 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000007502 0000000003 ( 0.04%) 0.0058
181.199.47.214 mJA0crAnbsk 00:02:32 0000007581 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000007600 0000000002 ( 0.03%) 0.0017
2 active SIP channels
```

La Figura 55 muestra la Latencia Promedio de los terminales durante 50 llamadas simultáneas generadas.

Figura 55

Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 50 generadas.

The screenshot shows a web interface with three tabs: PING, MY IP, and SPEED TEST. The PING tab is selected. Below the tabs, there is a 'Host' input field containing '40.124.49.55' and a dropdown menu showing '4..'. A 'Start' button is positioned below the input fields. The main content area displays the results of 12 ping tests, each showing '64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43' followed by the response time in milliseconds. At the bottom, there is a summary of ping statistics for the host.

```
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=105 ms
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=107 ms
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=106 ms
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=105 ms
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=105 ms
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=105 ms
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=104 ms
64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43
time=104 ms

Ping statistics for 40.124.49.55: Packets: Sent =
123 , Received = 123 Lost = 0 (0% loss), Approximate
round trip times in milli-seconds:  Minimum =
99.8 ms, Maximum = 837.0ms , Average =130ms
```

En la Tabla 23 se muestran los valores más críticos obtenidos de la Figura 54 y de la Figura 55, la calidad de VoIP y la calificación MOS.

Tabla 23

Análisis de QoS con 50 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	5,8	Excelente	
Latencia (ms)	130	Bueno	Excelente
Paquetes Perdidos (%)	0,04	Excelente	

- **120 Llamadas simultáneas**

En la Figura 56 se muestra las métricas de QoS de la llamada realizada entre los terminales durante la generación de 120 llamadas simultáneas, para analizar el Jitter y Porcentaje de Paquetes Perdidos.

Figura 56

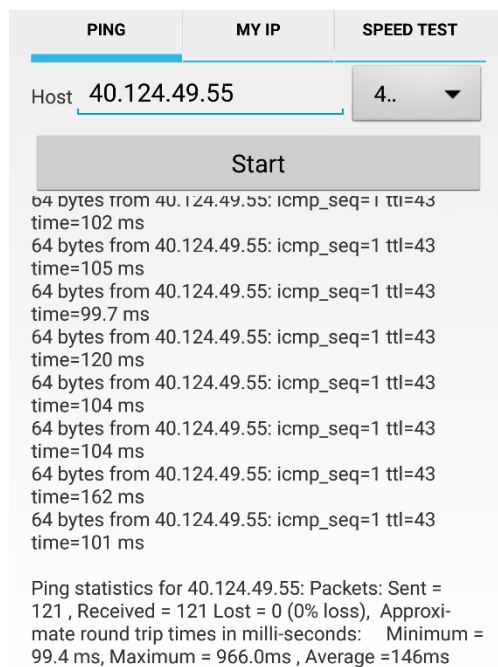
Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.

```
Asterisk*CLI> sip show channelstats
Peer          Call ID      Duration Recv: Pack  Lost      (   %) Jitter Send: Pack  Lost      (   %) Jitter
181.199.47.214  ibjBN-WSv_u 00:02:05 0000006258 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000006263 0000000003 ( 0.05%) 0.0006
181.199.47.214  2148ea3e2d3 00:02:05 0000006186 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000006210 0000000001 ( 0.02%) 0.0105
2 active SIP channels
```

En la Figura 57 se muestra la Latencia Promedio de los terminales, para analizar la latencia promedio durante 120 llamadas simultáneas generadas.

Figura 57

Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 120 generadas.



La Tabla 24 muestra los valores obtenidos de la Figura 56 y de la Figura 57.

Tabla 24

Análisis de QoS con 120 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	10,5	Bueno	
Latencia (ms)	146	Bueno	Bueno
Paquetes Perdidos (%)	0,05	Excelente	

- **150 Llamadas simultáneas**

La Figura 58 muestra el resultado del comando `sip show channelstats` durante las 150 llamadas simultáneas generadas, para analizar las métricas de la calidad de servicio como Jitter y Porcentaje de Paquetes Perdidos de la llamada activa realizada entre los terminales.

Figura 58

Análisis de Jitter y P.P. de la llamada entre terminales durante las 150 generadas.

```
Asterisk*CLI> sip show channelstats
Peer          Call ID      Duration Recv: Pack  Lost      (   %) Jitter Send: Pack  Lost      (   %) Jitter
181.199.47.214 DCmIZlwGyYo 00:02:02 0000006077 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000006100 0000000078 ( 1.28%) 0.0170
181.199.47.214 66f9b3fc5a1 00:02:02 0000006001 0000000000 ( 0.00%) 0.0000 0000006015 0000000048 ( 0.80%) 0.0111
2 active SIP channels
```

En la Figura 59 se muestra las pruebas de conectividad con el protocolo ICMP desde los terminales hacia al servidor remoto para analizar la Latencia Promedio.

Figura 59

Análisis de la Latencia de la llamada entre terminales durante las 150 generadas.

The screenshot shows a web interface for a ping test. At the top, there are three tabs: "PING" (selected), "MY IP", and "SPEED TEST". Below the tabs, the "Host" field contains "40.124.49.55" and a dropdown menu shows "4..". A large "Start" button is visible. Below the button, the test results are displayed as a list of 126 ping attempts, each showing "64 bytes from 40.124.49.55: icmp_seq=1 ttl=43" followed by a response time in milliseconds. The response times vary, with the lowest being 99.6 ms and the highest being 525.0 ms. At the bottom, the ping statistics are summarized: "Ping statistics for 40.124.49.55: Packets: Sent = 126, Received = 126 Lost = 0 (0% loss), Approximate round trip times in milli-seconds: Minimum = 99.6 ms, Maximum = 525.0ms, Average = 150ms".

La Tabla 25 muestra los valores de las métricas de QoS, obtenidos de la Figura 58 y de la Figura 59, con la respectiva calidad de VoIP y la calificación MOS final.

Tabla 25

Análisis de QoS con 150 llamadas simultáneas.

Métrica de QoS	Valor	Calidad de VoIP	Calificación MOS
Jitter (ms)	17	Bueno	
Latencia (ms)	150	Aceptable	Pobre
Paquetes Perdidos (%)	1,28	Aceptable	

Al generar mayor cantidad de llamadas simultáneas las métricas de QoS tienden a tener un valor mayor que afectan la calidad de VoIP. En los casos con 10, 50 y 120 llamadas simultáneas la calidad de servicio se asegura ya que la calificación MOS son de Excelente, Bueno y Aceptable. Con 150 llamadas simultáneas la calificación MOS es Pobre y el consumo promedio del CPU es de 62,6% y con 200 llamadas el consumo del CPU es 75,5% lo cual indica que el servidor no se encuentra a su máxima operación, pero al aumentar el número de llamadas simultáneas a más de 150 la central telefónica descarta las llamadas en exceso al igual que la central implementada en el servidor físico, es decir, que la central telefónica trabaja a su máxima operación, pero el servidor en general aún tiene mayor capacidad de CPU para otro tipo de aplicaciones.

4.5. Comparación de resultados del desempeño de la central telefónica implementada sobre un servidor físico y de la central telefónica implementada sobre un servidor remoto

La central telefónica implementada sobre el servidor remoto tiene un mejor desempeño que la central telefónica implementada sobre el servidor físico ya que en el

servidor remoto existe un máximo consumo promedio de CPU igual a 55,6% y en el servidor físico igual a 91,24% con el mismo número de llamadas simultáneas generadas. La Tabla 26 muestra un resumen de los resultados obtenidos en los 3 escenarios analizados, las principales ventajas y desventajas del uso de ambos tipos de servidores, entre otros aspectos.

Tabla 26

Comparación de resultados del desempeño de las centrales telefónicas.

Escenario	Primero	Segundo	Tercero
Tipo de Servidor	Físico	Físico	Remoto
Número Máximo de Llamadas simultáneas	120	90	120
% Promedio de Consumo CPU	91,24%	92,3%	55,6%
% Promedio de Consumo Memoria RAM	0,6%	0,5%	1%
Garantiza QoS	Si	Si	Si
Costo	\$650	\$650	\$70 mensual
Mantenimiento	Si (anual)	Si (anual)	No
Acceso a internet	No	No	Si
Seguridad	Media	Media	Alta (previa configuración)
Vulnerabilidad a Ciberataques	Baja	Baja	Alta
Accesibilidad mundial	No	No	Si

4.6. Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor físico de forma subjetiva

Para analizar la central telefónica en el servidor físico de forma subjetiva se utilizó el criterio MOS que se determina por una calificación entre 1 y 5 que brinda el usuario, siendo 5 calificación Excelente, 4 Bueno, 3 Aceptable, 2 Pobre y 1 Malo. A través de este criterio MOS se realizó un análisis de la calidad de experiencia del usuario QoE.

Debido a la Emergencia Sanitaria por la Pandemia del Covid-19 no se contó con los recursos necesarios para realizar 120 llamadas simultáneas reales, únicamente se realizó 4 llamadas simultáneas reales en 5 escenarios que se describen en la Tabla 27.

Tabla 27

Escenarios de prueba para análisis de QoE.

Escenario	Número de llamadas simultáneas generadas por SIPp	Número de llamadas simultáneas reales	Duración	Códec
Primer	0	4	120 segundos	G.711 ulaw
Segundo	10	4	120 segundos	G.711 ulaw
Tercero	50	4	120 segundos	G.711 ulaw
Cuarto	120	4	120 segundos	G.711 ulaw
Quinto	150	4	120 segundos	G.711 ulaw

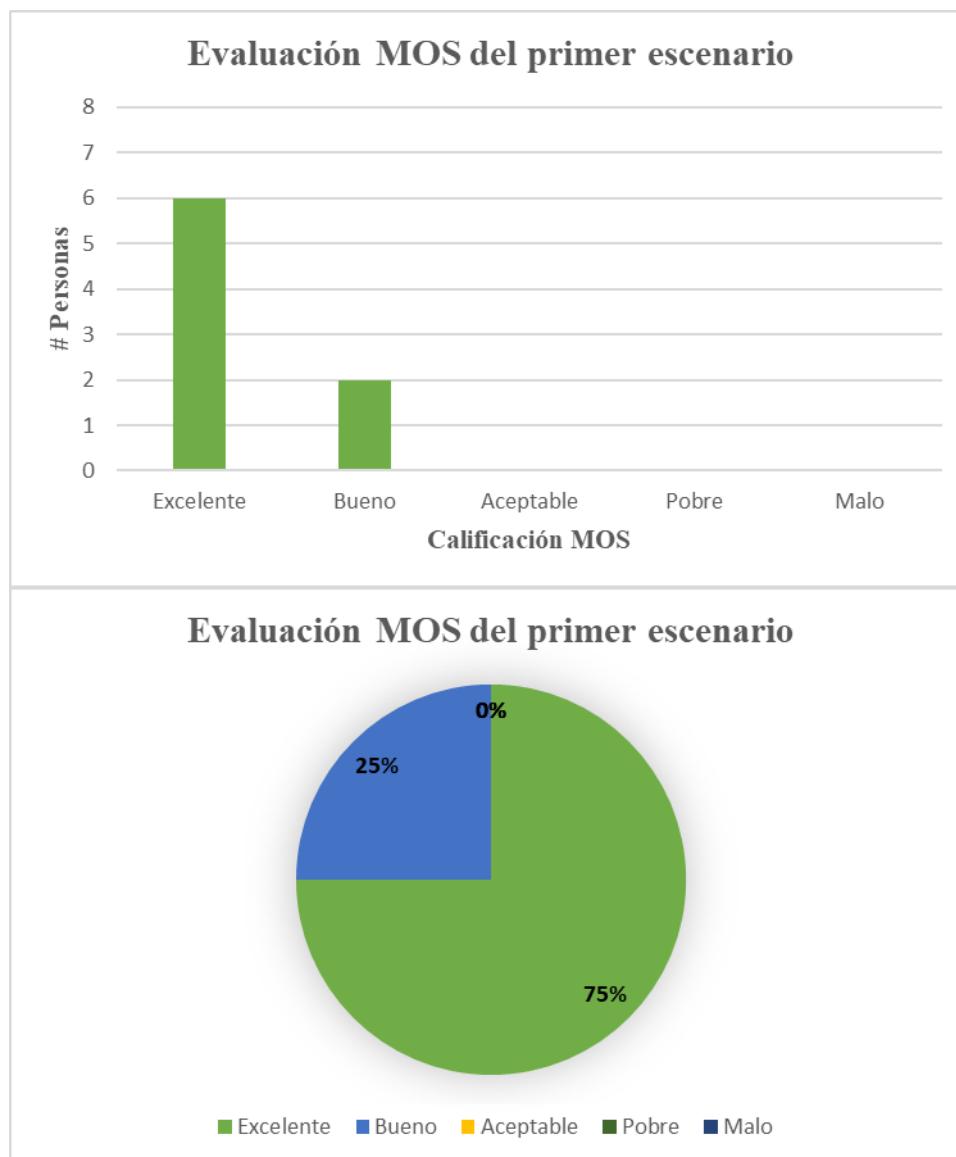
Las pruebas se realizaron con 10, 50, 120 y 150 llamadas simultáneas para analizar el QoE cuando el sistema de VoIP trabaja con su mínima, media, máxima y excede su capacidad de operación. La duración de la llamada es de 120 segundos ya que es aproximadamente la duración promedio de una llamada telefónica como se mencionó en la sección 4.3. Para realizar las llamadas reales los usuarios utilizaron una aplicación diseñada para trabajar dentro de un sistema de comunicaciones de telefonía IP basado en el protocolo SIP denominada Zoiper Beta que se encuentra en la Play Store de forma gratuita.

4.6.1. Análisis QoE

En el primer escenario no se generó ninguna llamada con el software SIPp, todas las llamadas reales iniciaron en el tiempo 0 y finalizaron en el tiempo de 120 segundos manteniendo una conversación continua y estructurada con un inicio, desarrollo y fin de la llamada. La Figura 60 muestra los resultados de la evaluación MOS del primer escenario.

Figura 60

Resultados de la evaluación MOS del primer escenario.



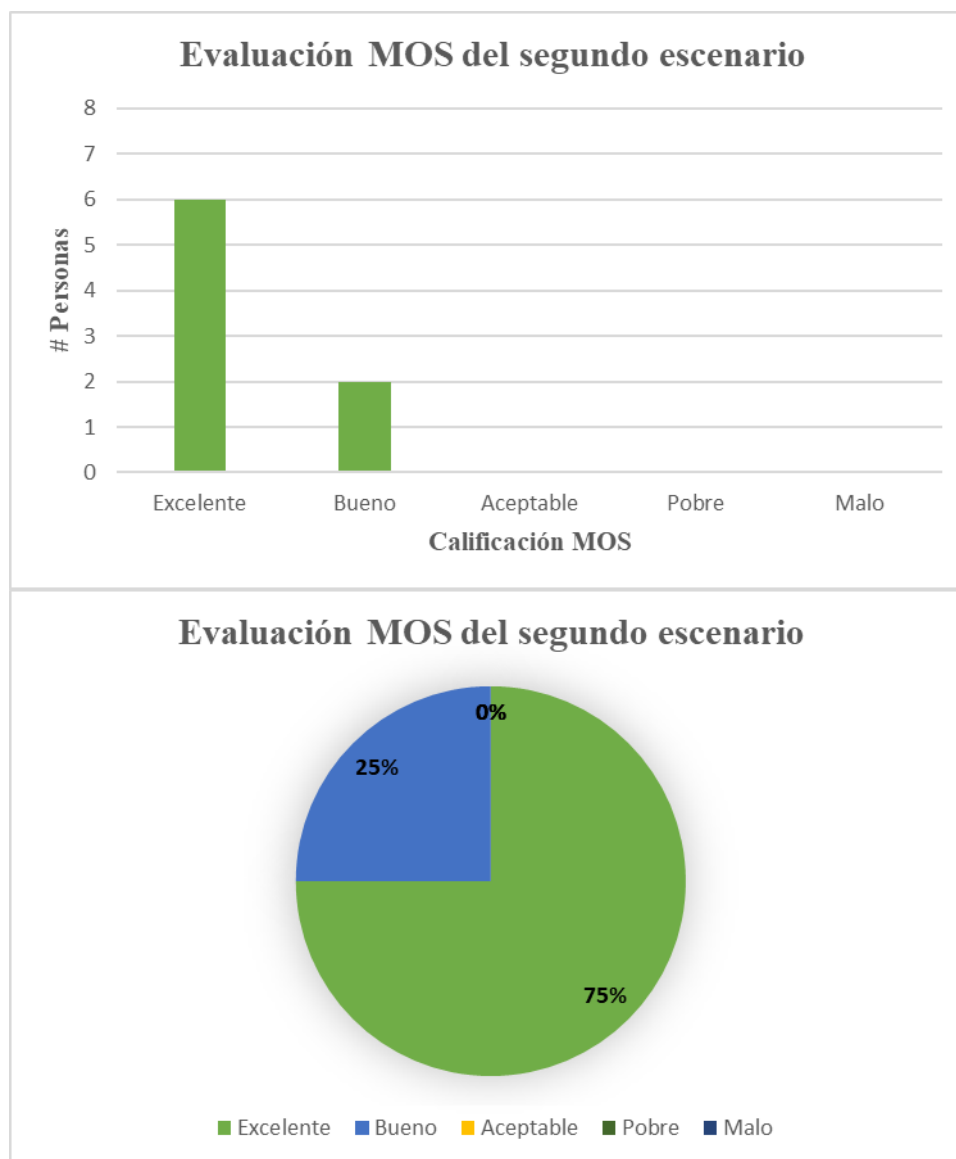
Como muestra la Figura 60 el 75% de los usuarios del sistema de VoIP brinda una calificación de Excelente mientras que el 25% restante brinda una calificación de Bueno. Esto indica que el QoE en este escenario se encuentra entre Excelente y Bueno.

En el segundo escenario se generaron 10 llamadas simultáneas con SIPp, las llamadas reales iniciaron en el tiempo 0 y finalizaron en 120 segundos, estas llamadas

mantuvieron una conversación continua con un inicio, desarrollo y fin. La Figura 61 muestra los resultados de la evaluación MOS del segundo escenario.

Figura 61

Resultados de la evaluación MOS del segundo escenario.

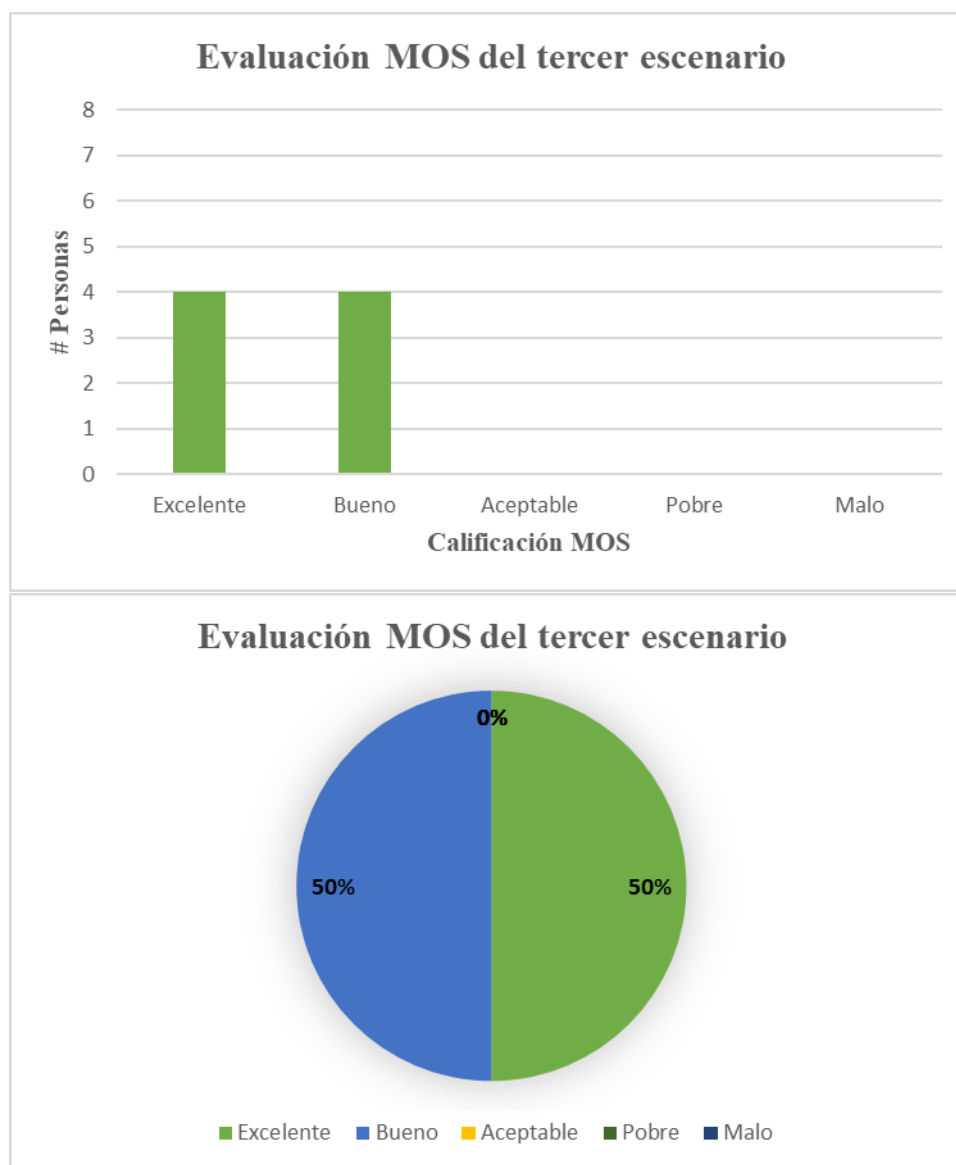


Como muestra la Figura 61 la Evaluación MOS del segundo escenario tuvo los mismos resultados del primer escenario el 75% Excelente y el 25% Buena. Es decir que el QoE en este escenario es de Excelente y Bueno.

En el tercer escenario se generó 50 llamadas simultáneas con SIPp, todas las llamadas reales iniciaron en el tiempo 0 y finalizaron en 120 segundos manteniendo una conversación continua y estructurada. La Figura 62 muestra los resultados de la evaluación MOS del tercer escenario.

Figura 62

Resultados de la evaluación MOS del tercer escenario.

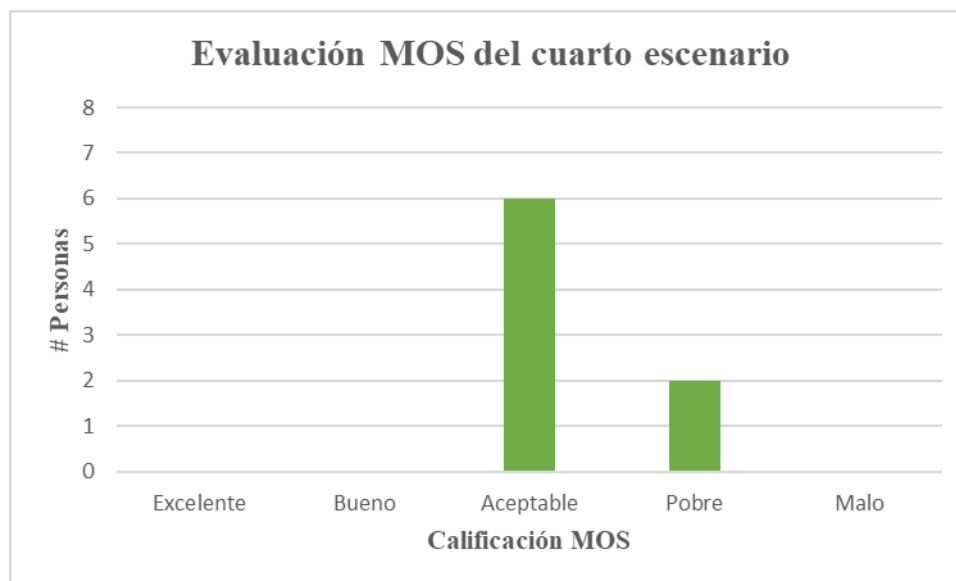


Como se muestra en la Figura 62 el 50% de los usuarios del sistema de VoIP implementado en el servidor físico brinda una calificación de Excelente mientras que el 50% restante brinda una calificación de Bueno. Esto indica que el QoE al igual que los dos escenarios anteriores aún se encuentra entre Excelente y Bueno, pero con un porcentaje igualitario entre ambas calificaciones.

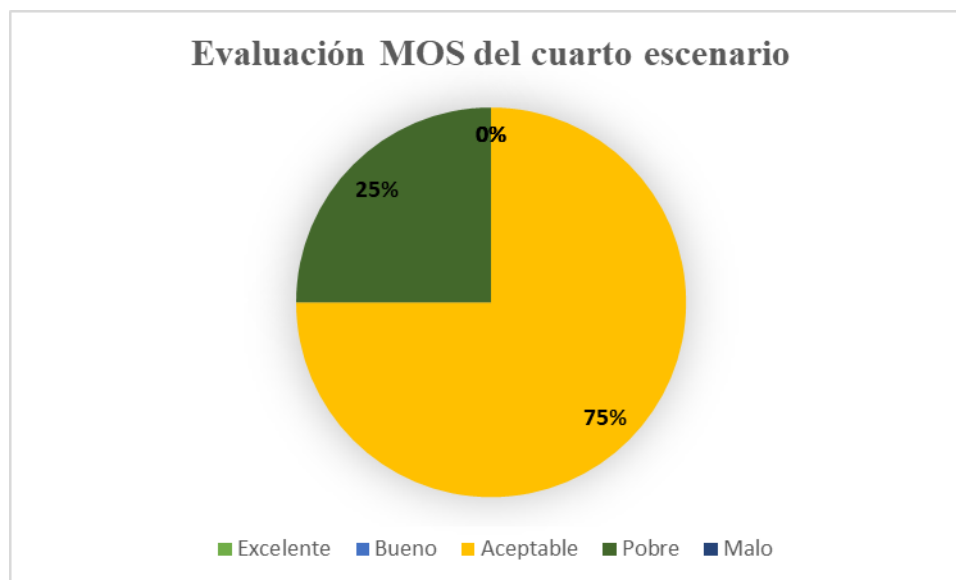
En el cuarto escenario se generaron 120 llamadas simultáneas con SIPp, las 4 llamadas reales iniciaron en el tiempo 0 y finalizaron en 120 segundos y mantuvieron una conversación continua y estructurada. La Figura 63 muestra los resultados de la evaluación MOS del cuarto escenario.

Figura 63

Resultados de la evaluación MOS del cuarto escenario.



CONTINÚA →

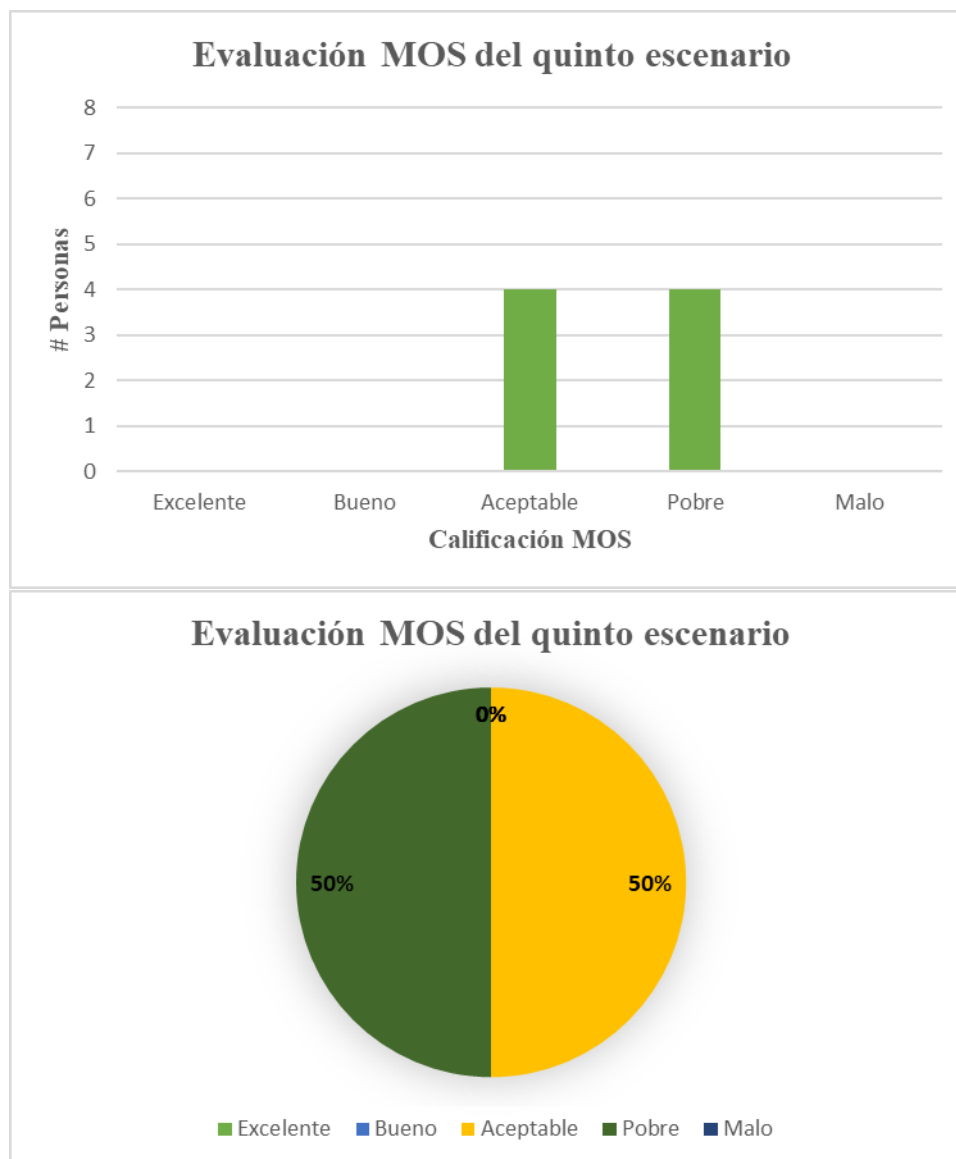


Como se muestra en la Figura 63 el 75% de los usuarios brinda una calificación de Aceptable y el 25% restante brinda una calificación de Pobre. Esto indica que el QoE disminuye ya que ahora se encuentra entre Aceptable y Pobre.

En el quinto escenario se generaron 150 llamadas simultáneas, las llamadas reales mantuvieron una conversación continua y estructurada.

Figura 64

Resultados de la evaluación MOS del quinto escenario.



La Figura 64 muestra los resultados de la evaluación MOS del quinto escenario, el 50% de los usuarios brinda una calificación de Aceptable y el otro 50% brinda una calificación de Pobre. Esto indica que el QoE se encuentra entre Aceptable y Pobre, pero con el mismo porcentaje entra ambas calificaciones.

La Tabla 28 muestra los resultados del QoE de la central telefónica Asterisk implementada en un servidor físico en los cinco escenarios descritos.

Tabla 28

Comparación del QoE de la central telefónica en el servidor físico.

Escenario/Calificación	Excelente	Bueno	Aceptable	Pobre	Malo
MOS					
Primer	75%	25%	0%	0%	0%
Segundo	75%	25%	0%	0%	0%
Tercero	50%	50%	0%	0%	0%
Cuarto	0%	0%	75%	25%	0%
Quinto	0%	0%	50%	50%	0%

El primer y segundo escenario alcanzaron el mayor porcentaje en la calificación Excelente, el tercer escenario tuvo un empate entre las calificaciones Excelente y Bueno. El cuarto escenario tuvo el mayor porcentaje en Aceptable, esto ocurre porque en este escenario el servidor físico se encuentra trabajando a su máxima capacidad de operación. En el último escenario hubo un empate entre las calificaciones Aceptable y Pobre, esto ocurre porque el servidor físico excede su capacidad de operación y la central telefónica se encuentra en su máxima capacidad de operación. Conforme aumenta el número de llamadas simultáneas y aumenta el consumo de CPU del servidor los usuarios tienden a tener una menor calidad de la llamada afectando la comunicación.

4.7. Evaluación de la Central Telefónica implementada sobre un servidor remoto de forma subjetiva

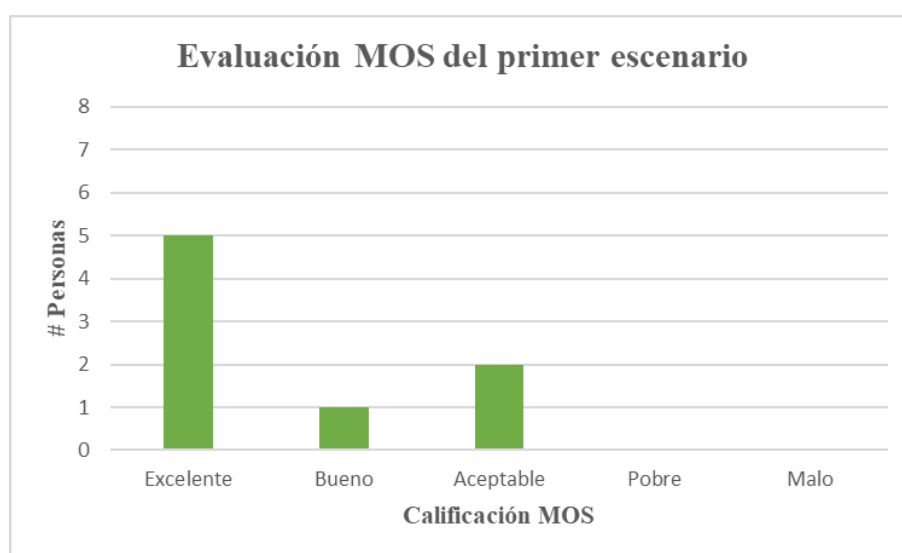
Para el análisis de la central telefónica en el servidor remoto de forma subjetiva se utilizó el criterio MOS y a través de este se obtuvo un análisis de la calidad de experiencia del usuario QoE. Se utilizó los mismos escenarios de la evaluación MOS de la central telefónica implementada en el servidor físico descritos en la Tabla 27 con el fin de realizar una comparación entre ambos tipos de servidores.

4.7.1. Análisis QoE

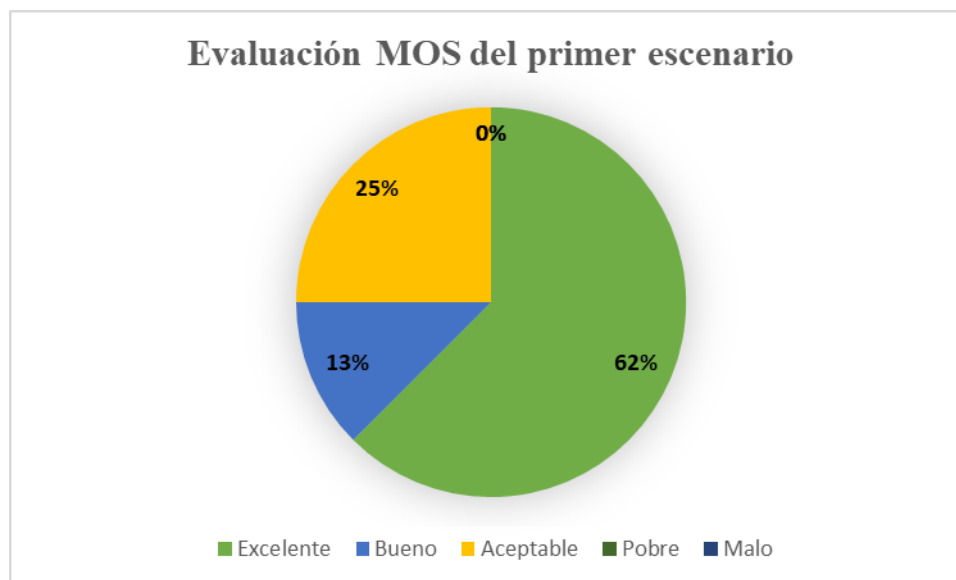
En el primer escenario no se generó ninguna llamada con el software SIPp, todas las llamadas reales iniciaron en tiempo 0 y finalizaron en el tiempo de 120 segundos manteniendo una conversación continua y estructurada con un inicio, desarrollo y fin de la llamada. La Figura 65 muestra los resultados de la evaluación MOS del primer escenario.

Figura 65

Resultados de la evaluación MOS del primer escenario.



CONTINÚA →

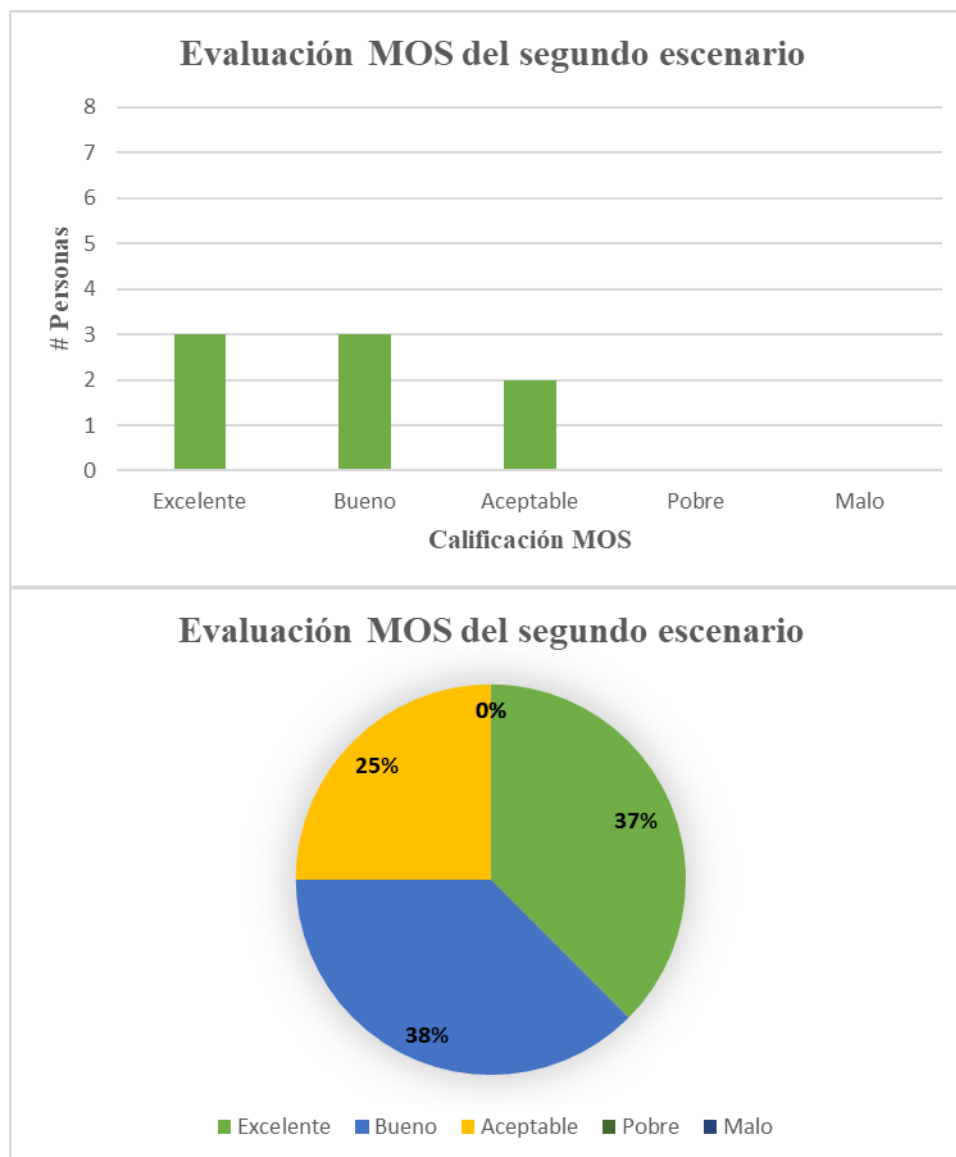


Como muestra la Figura 65 el 62% de los usuarios del sistema de VoIP brinda una calificación de Excelente, el 13% brinda una calificación de Bueno y el 25% restante una calificación de Aceptable. Esto indica que el QoE en este escenario se encuentra dentro de las 3 primeras calificaciones del criterio MOS.

En el segundo escenario se generaron 10 llamadas simultáneas con SIPp, las llamadas reales iniciaron en tiempo 0 y finalizaron en 120 segundos, estas llamadas mantuvieron una conversación continua con un inicio, desarrollo y fin. La Figura 66 muestra los resultados de la evaluación MOS del segundo escenario.

Figura 66

Resultados de la evaluación MOS del segundo escenario.

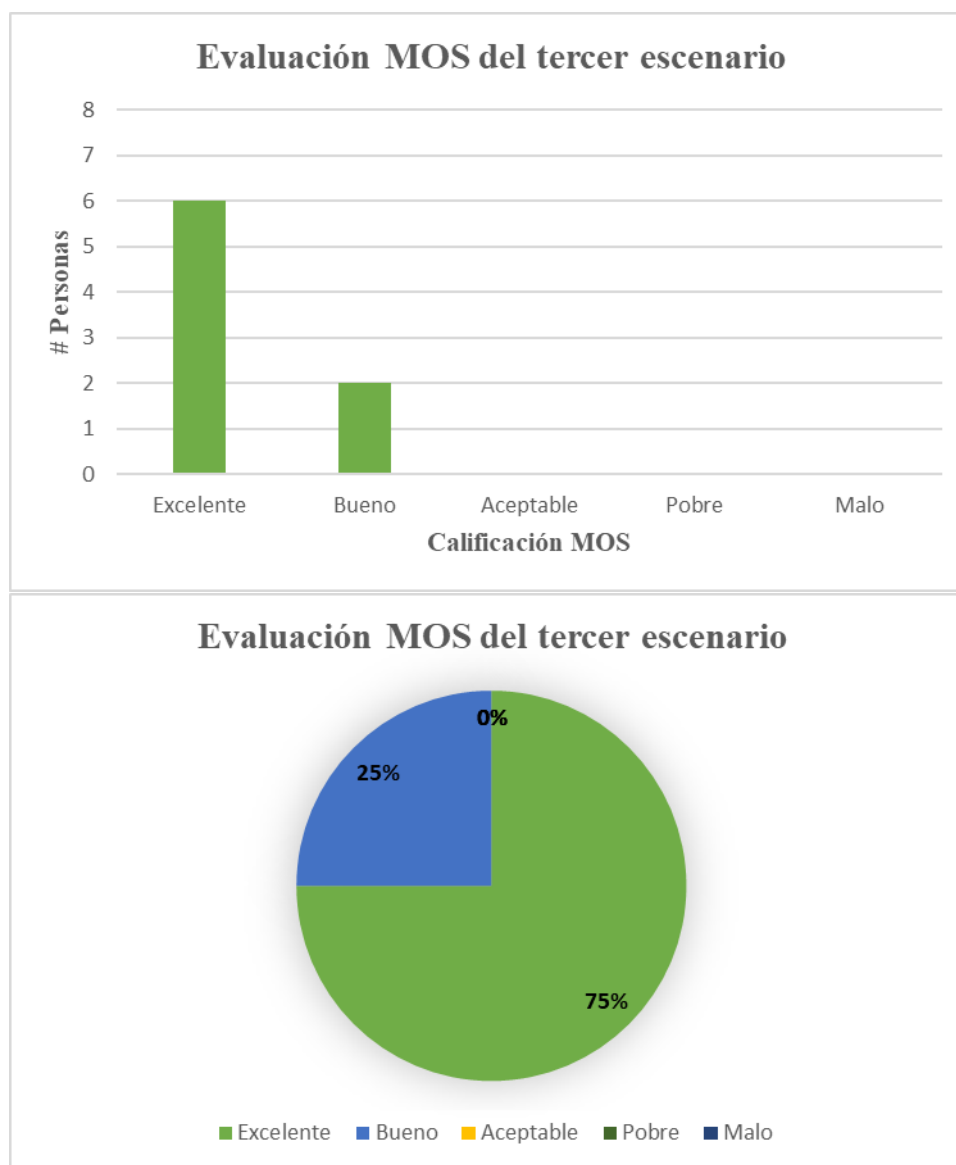


Como muestra la Figura 66 el 37% de los usuarios brindan una calificación de Excelente, el 38% brinda una calificación de Bueno y el 25% restante una calificación de Aceptable. Esto indica que el QoE en este escenario al igual que en el primero se encuentra dentro de las 3 primeras calificaciones del criterio MOS con un menor porcentaje en la calificación Excelente y un mayor porcentaje en Bueno.

En el tercer escenario se generó 50 llamadas simultáneas con SIPp, todas las llamadas reales iniciaron en tiempo 0 y finalizaron en 120 segundos manteniendo una conversación continua y estructurada. La Figura 67 muestra los resultados de la evaluación MOS del tercer escenario.

Figura 67

Resultados de la evaluación MOS del tercer escenario.

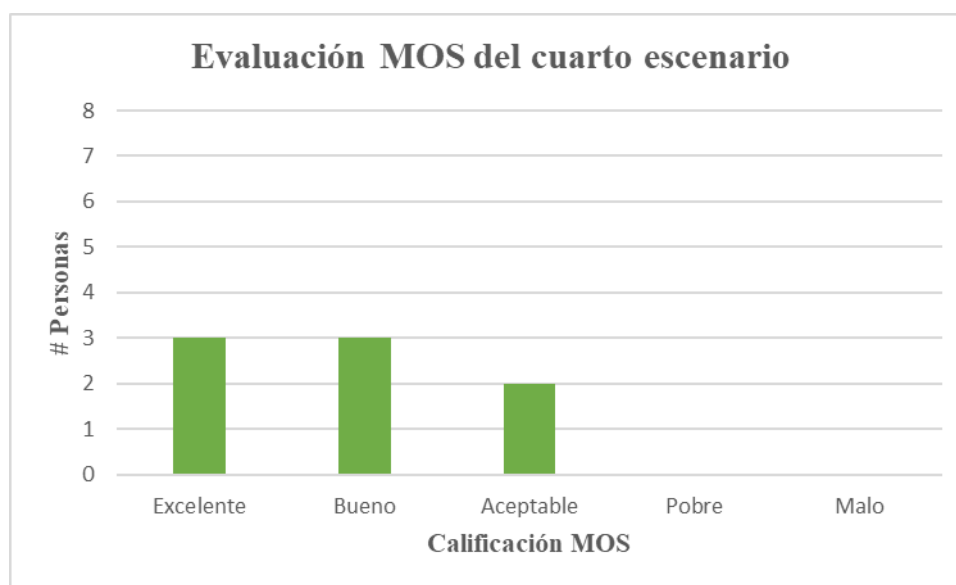


Como se muestra en la Figura 67 el 75% de los usuarios del sistema de VoIP implementado en el servidor remoto brindan una calificación de Excelente mientras que el 25% restante brinda una calificación de Bueno. Esto indica que el QoE se encuentra entre las calificaciones de Excelente y Bueno.

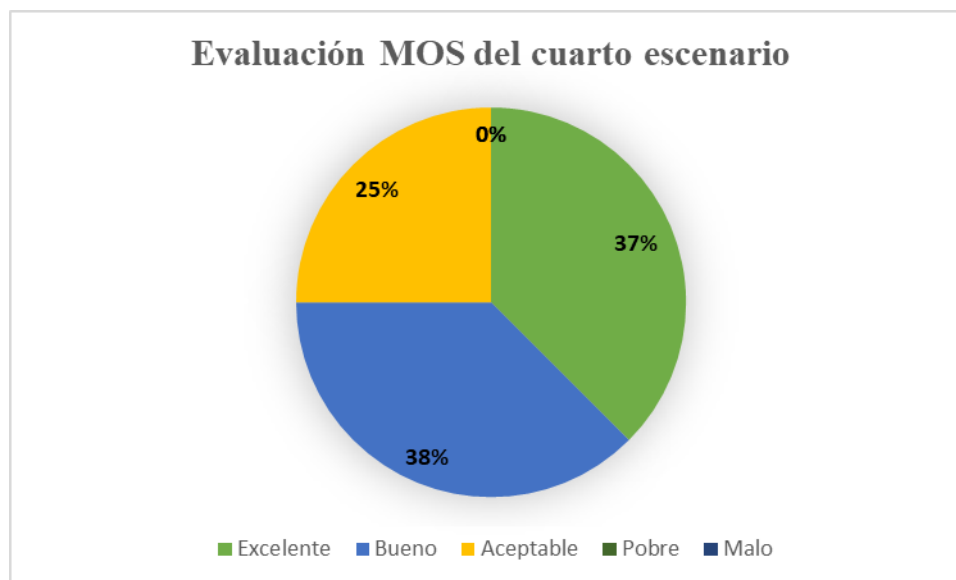
En el cuarto escenario se generaron 120 llamadas simultáneas con SIPp, las 4 llamadas reales iniciaron en tiempo 0 y finalizaron en 120 segundos y mantuvieron una conversación continua y estructurada. La Figura 68 muestra los resultados de la evaluación MOS del cuarto escenario.

Figura 68

Resultados de la evaluación MOS del cuarto escenario.



CONTINÚA →

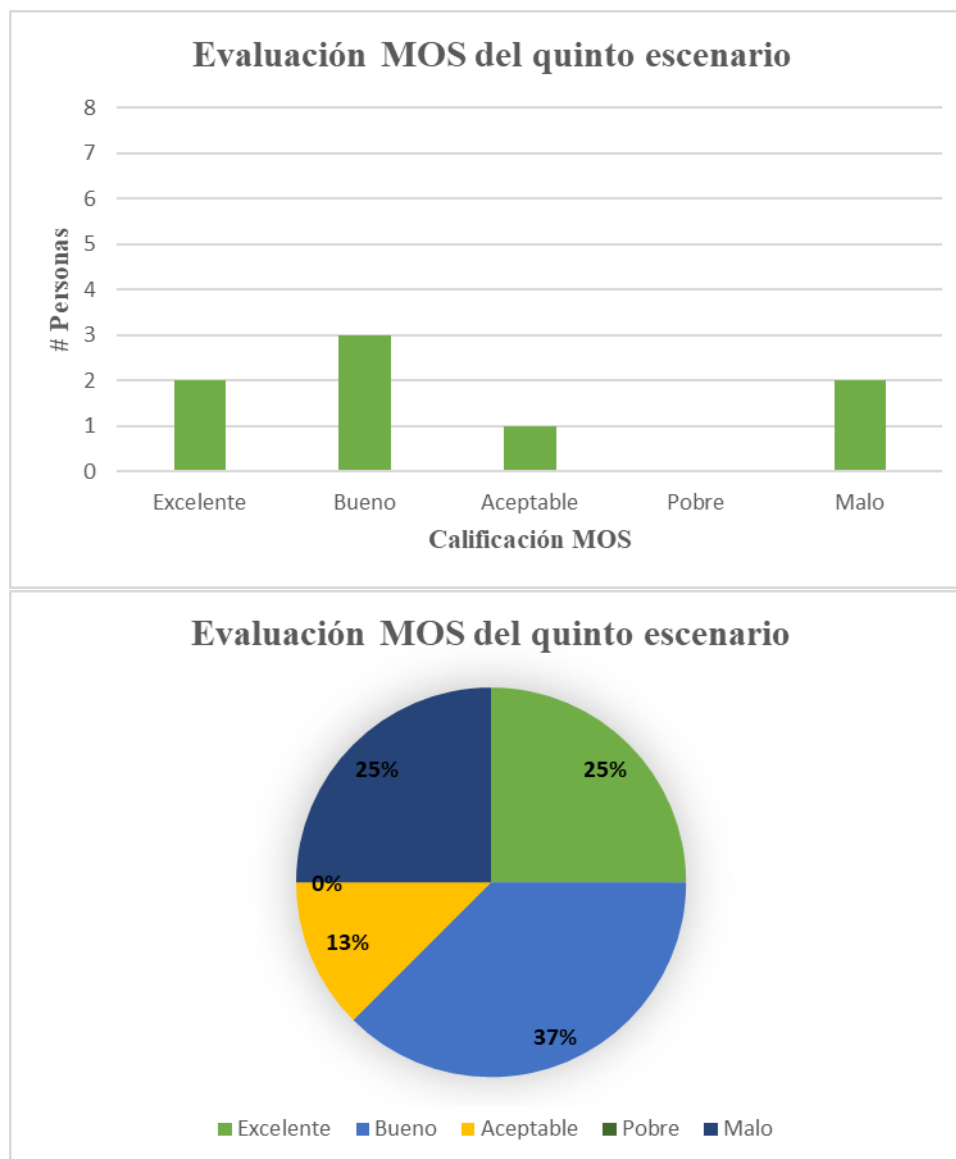


Como se muestra en la Figura 68 el 37% de los usuarios brinda una calificación de Excelente, el 38% brindan una calificación de Bueno y el 25% restante una calificación de Aceptable. Esto indica que el QoE se encuentra entre Excelente, Bueno y Aceptable.

En el quinto escenario se generaron 150 llamadas simultáneas, las llamadas reales mantuvieron una conversación continua y estructurada.

Figura 69

Resultados de la evaluación MOS del quinto escenario.



La Figura 69 muestra los resultados de la evaluación MOS del quinto escenario, el 25% de los usuarios brinda una calificación de Excelente, el 37% una calificación de Bueno, el 13% de Aceptable y el 25% restante una calificación de Malo. Esto indica que el QoE se encuentra distribuido entre todas las calificaciones.

La Tabla 29 muestra los resultados del QoE de la central telefónica Asterisk implementada en un servidor remoto en los cinco escenarios descritos.

Tabla 29

Comparación del QoE de la central telefónica en el servidor remoto.

Escenario/Calificación	Excelente	Bueno	Aceptable	Pobre	Malo
MOS					
Primer	62%	13%	25%	0%	0%
Segundo	37%	38%	25%	0%	0%
Tercero	75%	25%	0%	0%	0%
Cuarto	37%	38%	25%	0%	0%
Quinto	25%	37%	13%	0%	25%

El primer y tercer escenario alcanzaron el mayor porcentaje en la calificación Excelente, el segundo y cuarto escenario tuvieron los mismos porcentajes en cada una de las calificaciones y alcanzaron su mayor porcentaje en la calificación de Bueno. El quinto escenario tuvo el mayor porcentaje en Bueno y un porcentaje considerable en Malo, esto ocurre porque la central telefónica se encuentra en su máxima capacidad de operación, aunque el servidor se encuentra a mitad de su capacidad de operación. La calidad de las llamadas disminuye conforme aumenta el número de llamadas simultáneas, otro factor influyente en dicha calidad es la velocidad de internet de cada usuario que depende exclusivamente del ISP y de los servicios que se estén utilizando en la red del usuario en el momento de la llamada.

4.8. Comparación del análisis QoE de la central telefónica implementada sobre un servidor físico y de la central telefónica implementada sobre un servidor remoto

La Tabla 30 muestra los resultados del QoE de la central telefónica Asterisk implementada en ambos tipos de servidores.

Tabla 30

Comparación del QoE de la central telefónica entre ambos servidores.

Escenario	Tipo de Servidor/ Calificación MOS	Excelente	Bueno	Aceptable	Pobre	Malo
Primer	Físico	75%	25%	0%	0%	0%
	Remoto	62%	13%	25%	0%	0%
Segundo	Físico	75%	25%	0%	0%	0%
	Remoto	37%	38%	25%	0%	0%
Tercero	Físico	50%	50%	0%	0%	0%
	Remoto	75%	25%	0%	0%	0%
Cuarto	Físico	0%	0%	75%	25%	0%
	Remoto	37%	38%	25%	0%	0%
Quinto	Físico	0%	0%	50%	50%	0%
	Remoto	25%	37%	13%	0%	25%

El primer escenario alcanzó el mayor porcentaje en la calificación de Excelente con el uso de ambos servidores. El segundo escenario alcanzó su máxima calificación de Excelente con el servidor físico y la calificación de Bueno con el servidor remoto. El tercer escenario alcanzó una calificación de Excelente y Bueno con el servidor físico y

con el servidor remoto una calificación de Excelente. El cuarto escenario alcanzó su máxima calificación de Aceptable con el servidor físico y Bueno con el servidor remoto. El quinto escenario alcanzó una calificación de Aceptable y Pobre con el servidor físico y con el servidor remoto una calificación de Bueno.

En ambas centrales telefónicas la calidad de las llamadas disminuye con el aumento de llamadas simultáneas, con el servidor remoto se obtuvo en todos los escenarios porcentajes en la calificación de Excelente a diferencia del servidor físico donde en los dos últimos escenarios se obtuvo 0% en Excelente. Aunque el viaje de paquetes en el servidor físico es mucho más corto que en el servidor remoto eso no asegura que la calidad de la llamada sea mejor.

4.9. Comparación de resultados objetivos y subjetivos de las centrales telefónicas implementadas sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico

La Tabla 31 muestra los resultados de la evaluación MOS según el análisis objetivo o análisis del QoS y según el análisis subjetivo o análisis del QoE de la central telefónica Asterisk implementada en ambos tipos de servidores.

Tabla 31

Comparación del QoS y QoE de las centrales telefónica implementadas sobre ambos servidores.

Escenario	Tipo de Servidor	Calificación MOS según QoS	Calificación MOS según QoE
Segundo	Físico	Excelente	Excelente
	Remoto	Excelente	Bueno
Tercero	Físico	Bueno	Excelente - Bueno
	Remoto	Excelente	Excelente
Cuarto	Físico	Aceptable	Aceptable
	Remoto	Bueno	Bueno
Quinto	Físico	Pobre	Aceptable - Pobre
	Remoto	Pobre	Bueno

Como muestra la Tabla 31 las calificaciones MOS según el análisis del QoS y del QoE concuerdan en todos los escenarios y con ambos tipos de servidores, con la excepción del Quinto escenario con el servidor remoto.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El desempeño de la central telefónica implementada sobre un servidor remoto es mayor al desempeño de la central telefónica en un servidor físico, con 120 llamadas simultáneas y con la garantía del QoS el servidor remoto consume en promedio 55,6% del CPU y 1% de la memoria RAM a diferencia del servidor físico que consume 91,24% del CPU y el 0,6% de la RAM, ambos servidores cuentan con el software necesario para una central telefónica de un sistema mediano o grande.
- La capacidad de la central telefónica implementada sobre un servidor físico varía según la herramienta que se utiliza para generar las llamadas simultáneas, con una máquina virtual dentro del mismo servidor se obtuvo un máximo de 120 llamadas simultáneas con un consumo promedio en el CPU de 91,24% y con una PC se obtuvo un máximo de 90 llamadas con 92,3% de consumo en el CPU.
- La capacidad teórica de llamadas simultáneas de la central telefónica fue de 263 con un enlace a Internet de 25 Mbps, no se obtuvo dicha capacidad debido a que Asterisk y los servidores remoto o físico tienen limitaciones de software y no permiten 263 llamadas, además los 25 Mbps no son exactos por diversos factores como la compartición del servicio, el área de cobertura del WiFi o las características físicas del router utilizado.

- Con mayor número de llamadas simultáneas en las dos centrales telefónicas con el uso de los dos servidores las métricas de calidad de servicio tienden a aumentar su valor y a su vez la calidad de VoIP disminuye.
- Se determinó que la principal diferencia en la arquitectura de una central telefónica implementada sobre un servidor físico y la central telefónica implementada sobre un servidor remoto es el acceso a internet, debido a que la segunda necesariamente debe tener dicho servicio para poder acceder al servidor y configurarlo, además brinda accesibilidad mundial a los usuarios.
- Los costos y prestaciones en un servidor remoto presentan mayor número de ventajas que en un servidor físico, por la infraestructura altamente escalable que brinda Cloud Computig, un fácil acceso a las actualizaciones más recientes, además de no ser necesaria una inversión inicial ya que se paga como un servicio mensual y el beneficio del ahorro de gastos en equipos centralizados y mantenimiento de los mismos.
- Los comandos utilizados para la implementación de la central telefónica Asterisk sobre un servidor físico y sobre un servidor remoto son los mismos, a excepción de la forma de descargar el software Asterisk, en el servidor físico depende del uso de un terminal o de un navegador web a diferencia del servidor remoto donde solo se puede utilizar un terminal.
- La vulnerabilidad a ciberataques de una central telefónica Asterisk es mucho mayor cuando esta se encuentra implementada sobre un servidor remoto, debido a que en la Internet existen diversas aplicaciones que se ejecutan automáticamente para realizar este tipo de ataques, por lo que es necesario aplicar máxima seguridad con el uso del servidor remoto.

- La configuración de los usuarios en el archivo *sip.conf* y la configuración del plan de marcado en el archivo *extensions.conf* de las centrales telefónicas implementadas en ambos tipos de servidores son las mismas, en el servidor físico no es necesaria la configuración de los puertos RTP a diferencia del servidor remoto donde se configuran dichos puertos en el archivo *rtp.conf*, al no configurar dicho archivo existen problemas de audio en las llamadas.
- El análisis del QoE con el uso del criterio MOS permitió obtener una perspectiva extra por parte de los usuarios para la interpretación de resultados del QoS y un factor influyente en dicho análisis es la velocidad de internet de los usuarios, esta depende del ISP contratado y de los servicios que se estén utilizando en la red durante la llamada.
- El viaje de los paquetes de las llamadas de VoIP con el uso del servidor físico es menor que con el uso del servidor remoto, con el servidor físico los paquetes viajan únicamente dentro de una red privada a diferencia del servidor remoto donde los paquetes deben viajar al servidor de la plataforma de Cloud Computing, pero esto no asegura que el QoE o el desempeño de la central telefónica implementada sobre el servidor físico sea mayor a la central telefónica implementada en el servidor remoto.

5.2. Recomendaciones

- Para tener un mayor tiempo de soporte o de soluciones de seguridad y poder instalar más aplicaciones que brindan mayor cantidad de servicios se recomienda instalar la última versión de Asterisk LTS.
- Es recomendable tener en cuenta los requisitos mínimos del procesador en el servidor para poder implementar una central telefónica Asterisk que cumpla con las características y número de usuarios necesarios para una empresa o institución.
- Para la instalación y uso de Asterisk y del software generador de llamadas simultáneas SIPp es recomendable tener un conocimiento básico acerca de los comandos en los Sistemas Operativos Linux Ubuntu.
- Es necesario utilizar diversas reglas de seguridad en la central telefónica implementada en la nube ya que esta es muy vulnerable ante ataques cibernéticos como DoS (*Denial of Service*), accesos no autorizados o descifrar contraseñas de las cuentas SIP de los terminales.
- Con el uso del comando *top* en el servidor físico se recomienda tener en cuenta el tiempo en el que se actualizan los datos ya que si la duración de las llamadas generadas por el software SIPp son menor a 30 segundos los resultados de consumo de CPU no estarán en su máximo nivel.

5.3. Trabajos Futuros

El grupo de trabajo desea realizar lo siguiente:

- Implementar la central telefónica con el uso de los dos tipos de servidores físico y remoto en una empresa mediana o grande y realizar la evaluación MOS para obtener el análisis del QoE únicamente con llamadas reales.
- Comparar el desempeño de una central telefónica Asterisk con una central telefónica Elastix o de otra marca con el uso de un mismo tipo de servidor.
- Realizar un análisis similar del presente proyecto especificando los estándares de WiFi IEEE 802.11 utilizados, con diferentes tipos de routers en la banda de 5 GHz y con diferentes tipos de códec.
- Comparar el desempeño de una central telefónica Asterisk con conexión a una red de telefonía tradicional con el uso de un ATA y sin dicha conexión.
- Analizar el desempeño de las centrales telefónicas implementadas con algún tipo de servicio extra como IVR (*Interactive Voice Response*), buzón de voz, transferencia y registro de llamadas o salas de audio conferencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. (2015). *Análisis, Diseño, e Implementación de un Sistema de VoIP para el Hospital Un Canto de la Vida*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Armijos, T. (2017). *Implementación y análisis de un sistema VoIP mediante Cloud Computing con integración para WebRTC*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Asterisk. (9 de Marzo de 2020). *Versions of Asterisk*. Obtenido de <https://www.asterisk.org/downloads/asterisk/all-asterisk-versions>
- Ayala, A., & Lomas, J. (2010). *Análisis del desempeño de los codec's de telefonía para voz sobre IP (Volp)*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Azure, M. (22 de Abril de 2020). *Conozca Azure. Explore el mundo de la informática en la nube y descubra qué es lo que diferencia a Azure*. Obtenido de <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/>
- Banerjee, U., Vashishtha, A., & Saxena, M. (2010). Evaluation of the Capabilities of WireShark as a tool for Intrusion Detection. *International Journal of Computer Applications*, 2.
- Barberán, J. (2009). *Implantación de un sistema VoIP basado en Asterisk*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Blanco, M., & Lovera, C. (2015). *Evaluación de los Parámetros que Afectan la Calidad de Servicio en Telefonía IP*. Universidad Libre-Barranquilla.
- Caldera, J., & Suazo, W. (2011). *Módulo III: Telefonía IP*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Carmona, D. (2014). *Implementación de una central IP – PBX basada en Asterisk para el sistema de telefonía de la Universidad Católica de Pereira*.

- Chávez, M., & Saltos, D. (2015). *Evaluación de un prototipo de central Asterisk implementado sobre la tarjeta Raspberry Pi*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Cisco. (25 de Febrero de 2020). *Prepara tu negocio para el futuro*. Obtenido de <https://digital.cisco.com/webex-calling/cisco/why-move-to-cloud>
- Cisco. (10 de Marzo de 2020). *Voz sobre IP – Consumo de Ancho de Banda por Llamada*. Obtenido de https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html
- Culqui, A. (2013). *Diseño de un Sistema de Telefonía IP basado en software libre e integración con la red de datos; Como alternativa de comunicación de voz sobre el protocolo IP entre dependencias del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Dell. (9 de Marzo de 2020). *Inspiron 15 Serie 5000*. Obtenido de https://downloads.dell.com/manuals/all-products/esuprt_laptop/esuprt_inspiron_laptop/inspiron-15-5559-laptop_reference%20guide_es-mx.pdf
- García de Vinuesa, O. B. (2012). *Desarrollo e Implantación de un Sistema de VoIP Basado en Asterisk y PBX*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Gayraud, R., Jacques, O., Day, R., & Wright, C. (13 de Febrero de 2020). *SIPp reference documentation*. Obtenido de <http://sipp.sourceforge.net/doc/reference.pdf>
- Gutiérrez, R. (2006). *Seguridad en VoIP: Ataques, Amenazas y Riesgos*. Universitat de Valencia.
- Huawei. (9 de Marzo de 2020). *EchoLife ONT GPON Terminal Product Description*. Obtenido de <https://fccid.io/QISHG8245H/User-Manual/Product-Manual-1979681.pdf>

- Lencinas, P. (2016). *Estudio comparativo de la utilización de ancho de banda con diferentes códecs*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- Linero, J. (24 de febrero de 2020). *¿Evaluando migrar la Telefonía a la Nube?* Obtenido de <https://gblogs.cisco.com/la/cl-jlinero-evaluando-migrar-la-telefonía-a-la-nube/>
- López Gómez, J., & Montoya Gil, F. (2014). *VoIP y Asterisk. Redescubriendo la telefonía*. Almería: RA-MA.
- Martínez, A. (2011). *Migración de un sistema de Telefonía en producción hacia VoIP con Asterisk*. Universidad de Sevilla.
- Meggelen, J., Madsen, L., & Smith, J. (2007). *Asterisk: The Future of Telephony*. United States of America: O'Reilly.
- Montoya, D. (2018). *Machine learning mediante Microsoft Azure: una aplicación sobre real-state*. Universitat de Barcelona.
- Nación. (21 de Octubre de 2014). *¿Cuánto dura una llamada promedio de celular?* Obtenido de <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/cuanto-dura-una-llamada-promedio-de-celular-nid1737397>
- Navarro, R. (Mayo de 2005). *Nuestro amigo Erlang*. Obtenido de <http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=2472&edi=48&xit=nuestro-amigo-erlang>
- Pazmiño, S. (2020). *Evaluación del desempeño de un prototipo de central Asterisk implementado sobre la tarjeta de desarrollo de bajo costo BeagleBone Black*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Rivera, P., & Poma, B. (2014). *Diseño e implementación de centrales telefónicas de voz sobre IP para prácticas de análisis de tráfico, señalización, protocolos de conmutación y troubleshooting VoIP para uso en el laboratorio de Telecomunicaciones*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

- Sacker, S., Santaiti, M., & Spence, C. (2006). Emerging The Business Case for Enterprise VoIP. *Intel Corporation*.
- Salcedo, O., López, D., & Hernández, C. (2012). Estudio comparativo de la utilización de ancho de banda con los protocolos SIP e IAX. *Tecnura*, 173-174.
- Soto, C. (2017). *Estudio del comportamiento de un servidor de VoIP basado en Raspberry PI y su incidencia en la cobertura para clientes móviles en redes WiFi*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
- Tandel, H., & Rughani, P. H. (2017). Forensic Analysis of Asterisk-FreePBX based VoIP Server. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, 166.
- Vaca, J. (2008). *Diseño e implementación de un emulador de central telefónica IP utilizando el software de código abierto ASTERISK para la red de datos de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- Vasco, M. (2010). *Dimensionamiento de una central telefónica IP utilizando estándares abiertos y software libre para la empresa Conectividad Global*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Verkasalo, H. (2006). *Emerging trends in the Mobile VoIP business*. FindaInd: Helsinki University of Technology.
- Villacis, F. (2011). *Estudio de factibilidad de la utilidad Asterisk en placas Alix*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Zhang, Q., Cheng, L., & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet services and applications*, 7-18.

ANEXOS