



**Análisis y selección de una PBX IP Open-Source para mejorar el sistema de comunicación en  
una organización**

Ramírez Bósquez, Joshua Ricardo

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Tecnologías de la  
Información

Ing. Núñez Agurto, Alberto Daniel, MGS

8 de septiembre del 2021

7/9/21 20:24

Verificación de Originalidad Trabajo Final

## Informe de originalidad

---

NOMBRE DEL CURSO  
NRC 6938 MIC - PI

NOMBRE DEL ALUMNO  
JOSHUA RICARDO RAMIREZ BOSQUEZ

NOMBRE DEL ARCHIVO  
JOSHUA RICARDO RAMIREZ BOSQUEZ - Tesis\_Verificación\_Originalidad

CREACIÓN DEL INFORME  
7 sep. 2021

---

### Resumen

Pasajes marcados	24	3 %
Pasajes citados/entrecomillados	6	0.8 %

### Coincidencias en la Web

docplayer.es	6	0.7 %
ichi.pro	5	0.7 %
us.es	4	0.5 %
espe.edu.ec	3	0.4 %
progsoft.net	1	0.3 %
medium.com	2	0.2 %
coursehero.com	1	0.1 %
cintel.co	1	0.1 %
ua.es	1	0.1 %
unirioja.es	1	0.1 %
wikipedia.org	1	0.1 %
researchgate.net	1	0.1 %
guiadigital.gob.cl	1	0.1 %
unisabana.edu.co	1	0.1 %
http://201.159.223.180/bitstream/3317/12732/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-337.pdf	1	0.1 %

---



Firmado electrónicamente por:  
**ALBERTO DANIEL  
NUNEZ AGURTO**

.....  
**Ing. Núñez Agurto, Alberto Daniel, MGS**

C.C.: 1716572548



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis y selección de una PBX IP Open-Source para mejorar el sistema de comunicación en una organización**” fue realizado por el señor **Ramírez Bósquez, Joshua Ricardo** 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.

Santo Domingo, 8 de septiembre del 2021



Firmado electrónicamente por:  
**ALBERTO DANIEL  
NÚÑEZ AGURTO**

.....  
**Ing. Núñez Agurto, Alberto Daniel, MGS**

C.C.: 1716572548



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Ramírez Bósquez, Joshua Ricardo**, con cédula de ciudadanía n°2300552102, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis y selección de una PBX IP Open-Source para mejorar el sistema de comunicación en una organización** 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.

Santo Domingo, 8 de septiembre del 2021

  
.....  
**Ramírez Bósquez, Joshua Ricardo**

C.C.: 2300552102



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Ramírez Bósquez, Joshua Ricardo**, con cédula de ciudadanía n°2300552102, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis y selección de una PBX IP Open-Source para mejorar el sistema de comunicación en una organización** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Santo Domingo, 8 de septiembre del 2021

**Ramírez Bósquez, Joshua Ricardo**

C.C.: 2300552102

### **Dedicatoria**

El presente trabajo de tesis lo dedico principalmente a Dios, por ser mi apoyo principal y darme la fuerza para continuar en este proceso de cumplir una de mis metas de vida.

A mis padres Leonardo y Esperanza, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, ya que gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí.

Para todos ellos con mucho amor.

JOSHUA RICARDO RAMÍREZ BÓSQUEZ

### **Agradecimiento**

Al finalizar este trabajo, quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios, por todas sus bendiciones a lo largo de mi vida.

A mis padres, quienes me han motivado a ser disciplinado y perseverante con mis metas a lo largo de mi vida.

A mi tutor de tesis Ing. Daniel Núñez por confiar en mí y ayudarme en este largo camino.

A mis compañeros cercanos y amigos que han sido un gran apoyo para culminar esta etapa.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas que me ha formado como profesional en sus aulas.

## Índice de Contenido

Carátula.....	1
Análisis Google Assignments .....	2
Certificado del Director.....	3
Responsabilidad de Autoría .....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenido .....	8
Índice de Tablas .....	13
Índice de Figuras .....	15
Resumen .....	17
Abstract.....	18
Capítulo I.....	19
Introducción.....	19
1.1.    Antecedentes .....	19
1.2.    Definición de la problemática .....	20
1.3.    Justificación.....	21
1.4.    Objetivos .....	22
1.4.1.    Objetivo General.....	22



1.4.2.	Objetivos Específicos .....	22
1.5.	Alcance .....	22
Capítulo II .....		24
Marco Teórico .....		24
2.1.	Antecedentes Investigativos .....	24
2.2.	Telefonía IP .....	25
2.2.1.	Definición .....	25
2.2.2.	VoIP .....	25
2.2.3.	Ventajas de la Telefonía IP .....	26
2.2.4.	Desventajas de la Telefonía IP .....	28
2.2.5.	Arquitectura de la telefonía IP .....	29
2.2.6.	Comparación de la Telefonía IP y la Telefonía Tradicional .....	31
2.4.	Protocolos VoIP .....	32
2.4.1.	H.323 .....	32
2.4.2.	SIP .....	33
2.4.3.	IAX .....	34
2.4.4.	MGCP .....	34
2.5.	Protocolos de transporte en VoIP .....	35
2.5.1.	RTP .....	35
2.5.2.	RTCP .....	36

2.5.3.	UDP .....	37
2.5.4.	TCP/IP.....	37
2.6.	Códecs VoIP.....	38
2.6.1.	G.711 Ley A (A- LAW) y ley U (U-LAW) .....	38
2.6.2.	G.722.....	38
2.6.3.	G.723.....	39
2.6.4.	G.726.....	39
2.6.5.	G.729.....	39
2.6.6.	GSM.....	39
2.6.7.	iLBC .....	40
2.6.8.	Speex.....	40
2.6.9.	Análisis de los códecs VoIP .....	40
2.7.	Centrales Telefónicas – PBX.....	41
2.7.1.	Tipos de PBX.....	41
2.8.	Servicios avanzados de telefonía IP .....	42
2.8.1.	Telefonía IP y videoconferencias .....	43
2.8.2.	Mensajería unificada .....	43
2.8.3.	Sistemas Call Center .....	43
2.8.4.	Teletrabajo.....	43
2.9.	Calidad del Servicio (QoS) para VoIP.....	44

2.9.1.	Calidad del Servicio QoS .....	44
2.9.2.	Parámetros QoS.....	44
2.9.3.	Variantes y Características.....	45
2.9.4.	MOS .....	46
2.10.	Contexto del Trabajo.....	48
2.10.1.	Asterisk .....	49
2.10.2.	Elastix .....	54
2.10.3.	FreePBX.....	57
2.10.4.	Issabel .....	59
2.10.5.	sipXcom.....	62
2.10.6.	FreeSWITCH .....	64
2.10.7.	Matriz Comparativa .....	67
Capítulo III.....		69
3.1.	Creación del laboratorio virtual .....	69
3.2.	Escenarios propuestos .....	69
3.2.1.	Escenario 1 (FreePBX).....	69
3.2.2.	Escenario 2 (Issabel) .....	70
3.2.3.	Configuración de servicios .....	71
3.3.	Implementación de FreePBX.....	72
3.3.1.	Instalación.....	72

3.3.2.	Configuración de los principales servicios .....	73
3.4.	Implementación de Issabel .....	77
3.4.1.	Instalación.....	77
3.4.2.	Configuración de los servicios principales .....	77
Capítulo IV.....		82
4.1.	Plan de pruebas y resultados .....	82
4.1.1.	Prueba de funcionalidad de los servicios.....	82
4.1.2.	Análisis QoS.....	87
4.1.3.	Experiencia de Usuario .....	93
Capítulo V.....		109
5.1.	Conclusiones .....	109
5.2.	Recomendaciones .....	110
Bibliografía .....		111

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Comparación del ancho de banda de los códecs para VoIP .....	40
<b>Tabla 2</b> Umbrales de aceptación para VoIP .....	46
<b>Tabla 3</b> Calificación MOS .....	46
<b>Tabla 4</b> Parámetros de QoS y MOS.....	47
<b>Tabla 5</b> Últimas versiones disponibles de Asterisk .....	52
<b>Tabla 6</b> Lista de Códecs y Protocolos VoIP utilizados por Asterisk .....	54
<b>Tabla 7</b> Lista de Códecs y Protocolos VoIP utilizados por Elastix .....	56
<b>Tabla 8</b> Versiones de FreePBX disponibles .....	58
<b>Tabla 9</b> Lista de Códecs y protocolos VoIP utilizados por FreePBX .....	59
<b>Tabla 10</b> Lista de códecs y protocolos VoIP utilizados por Issabel .....	61
<b>Tabla 11</b> Lista de códecs y protocolos VoIP utilizados por sipXcom.....	63
<b>Tabla 12</b> Lista de códecs y protocolos VoIP utilizados por FreeSWITCH .....	65
<b>Tabla 13</b> Matriz comparativa de las IP PBX Open-Source .....	67
<b>Tabla 14</b> Parámetros para la configuración de los servicios de Issabel y FreePBX.....	72
<b>Tabla 15</b> Análisis de QoS en la llamada entre las terminales en FreePBX.....	91
<b>Tabla 16</b> Análisis de QoS en la llamada entre las dos terminales en Issabel.....	92
<b>Tabla 17</b> Comparación de la calificación MOS obtenida del análisis QoS entre Issabel y FreePBX .....	93
<b>Tabla 18</b> Mediciones que dan valor a los heurísticos.....	94
<b>Tabla 19</b> Heurística Nro. 1-Visibilidad del estado del sistema.....	94
<b>Tabla 20</b> Heurística Nro. 2- Coincidencia entre el sistema y el mundo real.....	96
<b>Tabla 21</b> Heurística Nro. 3- Control y libertad del usuario .....	97

<b>Tabla 22</b> Heurística Nro. 4- Coherencia y estándares.....	98
<b>Tabla 23</b> Heurística Nro. 5- Prevención de errores .....	99
<b>Tabla 24</b> Heurística Nro. 6- Reconocimiento en lugar de recordar .....	100
<b>Tabla 25</b> Heurística Nro. 7- Flexibilidad y eficiencia de uso .....	102
<b>Tabla 26</b> Heurística Nro. 8- Diseño estético y minimalista .....	103
<b>Tabla 27</b> Heurística Nro. 9- Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores.....	103
<b>Tabla 28</b> Heurística Nro. 10- Ayuda y documentación .....	105
<b>Tabla 29</b> Comparación de la evaluación heurística de Issabel y FreePBX .....	107
<b>Tabla 30</b> Valor de medición de los valores promedio de las heurísticas.....	108

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Arquitectura VoIP .....	30
<b>Figura 2</b> Fases de la metodología de trabajo.....	48
<b>Figura 3</b> Escenario de pruebas destinado para FreePBX .....	70
<b>Figura 4</b> Escenario de pruebas destinado para Issabel.....	71
<b>Figura 5</b> Extensiones de la 1000 – 1005 creadas en FreePBX.....	73
<b>Figura 6</b> IVR creado en la lista de IVR’s disponibles de FreePBX .....	74
<b>Figura 7</b> Grupo de extensiones 1500 creado para el IVR Operadora en FreePBX.....	75
<b>Figura 8</b> Habilitando los códecs para el soporte de video en FreePBX.....	75
<b>Figura 9</b> Conferencia creada en FreePBX.....	76
<b>Figura 10</b> Extensión 1004 configurada con FM/FM en FreePBX .....	76
<b>Figura 11</b> Extensiones de la 1000 – 1005 creadas en Issabel .....	77
<b>Figura 12</b> IVR creado correctamente en Issabel .....	78
<b>Figura 13</b> Configuración de extensión 1000 como número de marcado para el IVR en Issabel ...	79
<b>Figura 14</b> Soporte de video Habilitando en Issabel .....	80
<b>Figura 15</b> Conferencia creada en Issabel .....	80
<b>Figura 16</b> Follow Me configurado en Issabel .....	81
<b>Figura 17</b> Llamada exitosa de la extensión 1001 a la 1002 en Issabel y FreePBX .....	83
<b>Figura 18</b> Prueba del servicio de IVR en Issabel y FreePBX .....	84
<b>Figura 19</b> Prueba del servicio de Videollamada en Issabel y FreePBX.....	85
<b>Figura 20</b> Prueba del servicio de Conferencia en Issabel y FreePBX .....	86
<b>Figura 21</b> Prueba del servicio Follow Me en la en Issabel y FreePBX.....	87
<b>Figura 22</b> Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec G.711 (Alaw)....	88

<b>Figura 23</b> Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec G.722 .....	88
<b>Figura 24</b> Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec G.729 .....	89
<b>Figura 25</b> Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec GMS .....	90
<b>Figura 26</b> Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec SPEEX .....	90
<b>Figura 27</b> Interfaz de extensiones en FreePBX .....	95
<b>Figura 28</b> Interfaz de extensiones en Issabel .....	95
<b>Figura 29</b> Dashboard de FreePBX .....	96
<b>Figura 30</b> Dashboard de Issabel .....	97
<b>Figura 31</b> Menú principal de FreePBX .....	98
<b>Figura 32</b> Menú principal de Issabel .....	98
<b>Figura 33</b> Eliminando la extensión 1000 para comprobar la heurística 5 en FreePBX .....	99
<b>Figura 34</b> Eliminando la extensión 1000 para comprobar la heurística 3 en Issabel .....	100
<b>Figura 35</b> Falta de iconos en la interfaz de FreePBX .....	101
<b>Figura 36</b> Uso de Iconos en la interfaz de Issabel .....	101
<b>Figura 37</b> Usuario con rol de Extensión y opciones propias del rol en Issabel .....	102
<b>Figura 38</b> Paneles de diagnóstico y alertas del sistema en FreePBX .....	104
<b>Figura 39</b> Paneles de diagnóstico y alertas del sistema en Issabel .....	104
<b>Figura 40</b> Ayuda y documentación en FreePBX .....	106
<b>Figura 41</b> Ayuda y documentación en Issabel .....	106



## Resumen

En la actualidad las organizaciones necesitan de una infraestructura de comunicaciones práctica, que permita gestionar de forma eficiente los procesos de comunicación internos y externos. La telefonía IP es una tecnología que ha conseguido un alto grado de aceptación en muchas organizaciones, debido a la fácil integración con todos los medios, dispositivos y servicios de comunicación. Las centrales telefónicas o PBX son un componente de software esencial, que hace posible el funcionamiento de la telefonía IP. Las PBX desempeñan un rol fundamental en la administración y configuración de los servicios de la telefonía IP. Sin embargo, existen varias opciones de PBX Open-Source, lo que dificulta a las organizaciones saber cuál es la opción que mejor se ajuste a sus necesidades, debido a que no se han encontrado estudios comparativos enfocados a realizar este tipo de análisis. El objetivo del presente proyecto, es el de realizar un análisis y selección de una central IP Open-Source, que mejore el sistema de comunicaciones en una organización. El análisis de las PBX, se lo realizó con una matriz comparativa, que permitió seleccionar a dos PBX con mejores características, las cuales fueron implementadas en un entorno virtual, para probar el funcionamiento de los servicios, la calidad del servicio y la usabilidad de la interfaz gráfica. Los resultados mostraron que la PBX Open-Source Issabel, obtuvo un mejor desempeño en las pruebas realizadas.

Palabras clave:

- **VOIP**
- **TELEFONÍA IP**
- **PBX**
- **OPEN-SOURCE**

### **Abstract**

Nowadays, organizations need a practical communications infrastructure to efficiently manage internal and external communication processes. IP telephony is a technology that has achieved a high degree of acceptance in many organizations due to its easy integration with all communication media, devices, and services. PBXs are an essential software component that enables the operation of IP telephony. PBXs play a key role in the administration and configuration of IP telephony services. However, there are several Open-Source PBX options, which makes it difficult for organizations to know which option best suits their needs because no comparative studies have been found focused on this type of analysis. The objective of this project is to perform an analysis and selection of an Open-Source IP PBX to improve the communications system in an organization. The analysis of the PBXs was carried out with a comparative matrix, which allowed the selection of two PBXs with the best features, which were implemented in a virtual environment to test the performance of services, quality of service, and usability of the graphical interface. The results showed that the PBX Open-Source, Issabel obtained better performance in the tests performed.

Keywords:

- **VOIP**
- **IP TELEPHONY**
- **PBX**
- **OPEN-SOURCE**

## Capítulo I

### Introducción

#### 1.1. Antecedentes

La telefonía IP (Telefonía a través del Protocolo de Internet), ha conseguido ganar un alto grado de aceptación en las empresas, debido a la fácil integración de todos los medios de comunicación, dispositivos de comunicación y servicios. La telefonía IP está integrada en la infraestructura de una empresa, utilizando redes de datos IP locales, con el propósito de ofrecer comunicaciones de voz en toda la organización, transformando en una red convergente, es decir, que soporte voz, datos y video. Esta consolidación de servicios proporciona beneficios tales como la reducción de costos en implementación; procedimientos simplificados de soporte y configuración; mayor integración de las ubicaciones remotas y de las sucursales a la red corporativa.

La telefonía IP tuvo sus inicios a mediados de los años 90 y su crecimiento se dio junto con el crecimiento del uso de los ordenadores personales. Esto se vio apoyado por el aumento del despliegue de las redes IP. Aunque la aparición de la telefonía IP se asocia a menudo con el auge de Internet, es importante tener en cuenta que la telefonía IP no implica en absoluto al Internet pública, sino a la tecnología subyacente y el conjunto de protocolos de Internet (N. Kumar & Singh, 2020).

Las tecnologías VoIP (Voz sobre IP), ya han empezado a sustituir a los sistemas telefónicos tradicionales. El número de clientes que prefieren la telefonía IP a otros medios de telecomunicaciones crece rápidamente, lo que puede llevar a una completa dominación de la telefonía IP en el mercado de las telecomunicaciones. Con el tiempo, es probable que las

compañías telefónicas y las empresas se pasen por completo a los servicios de VoIP (Marwah & Mishra, 2011).

Existen varios componentes tanto de software como de hardware que hacen posible el completo funcionamiento de la telefonía IP como servicio. Entre estos se encuentran las centralitas telefónicas o PBX, las cuales juegan un rol importante y fundamental en la administración y configuración de este servicio. En la actualidad, existe un sinnúmero de PBX Open-Source, saber cuál implementar de acuerdo en una organización es un trabajo muy importante. Sin embargo, no existen estudios actualizados que realicen análisis comparativos de las PBX Open-Source, con el propósito de ofrecer lineamientos que permitan seleccionar la más adecuada para una organización.

## **1.2. Definición de la problemática**

Las organizaciones requieren de una infraestructura de comunicaciones práctica y eficiente, que permita gestionar de manera óptima los procesos de comunicación internos y externos. La telefonía IP, es una tecnología que permite integrar Voz sobre la misma infraestructura de cableado estructurado. Además, la telefonía IP cuenta con servicios como de extensiones, respuesta de voz interactiva (IVR), conferencias, videollamadas, sígueme (Follow Me), las cuales forman parte fundamental en las comunicaciones de una organización. Por lo tanto, es una tarea fundamental seleccionar la mejor tecnología de telefonía IP, para implementarla en la infraestructura de comunicaciones de una organización.

Una alternativa a las soluciones tradicionales de telefonía IP, es la implementación de PBX Open-Source. Sin embargo, no se han encontrado estudios comparativos aplicados a escenarios de igual condición a PBX Open-Source, que brinden información relevante a las organizaciones que deseen probar este tipo de tecnologías. Al no contar con una perspectiva

clara y amplia de todas las opciones disponibles, se vuelve un trabajo complejo seleccionar una PBX Open-Source.

Por lo anterior expuesto, es indispensable contar con estos estudios comparativos que faciliten la tarea a las organizaciones, de seleccionar una PBX Open-Source, que sea fiable. Estos estudios deben realizar un análisis comparativo de las PBX Open-Source más utilizadas, que cumplan con las mejores características, con el propósito de evaluarlas y visualizar sus ventajas y desventajas.

### **1.3. Justificación**

En la actualidad nos encontramos con redes basadas en conmutación de paquetes, donde todo tipo de flujos de información se combinan fácilmente en paquetes. Esto implica que debemos reconsiderar la implementación de los servicios de conmutación de circuitos de la telefonía tradicional, debido a los altos costos de implementación (Verkasalo, 2006). Por lo tanto, debemos pensar en alternativas que resulten más rentables y escalables, para integrarlas con la infraestructura de red de la organización.

La implementación de la Telefonía IP como reemplazo de la telefonía tradicional, traerá un sin número de beneficios, como ahorro de costes al combinar voz y datos en una red que puede ser mantenida y centralizada. Pero lo más importante es que aporta funciones y aplicaciones avanzadas que mejoran la productividad en toda la organización (Ajasa, A.A.A Shoewu, 2012).

En la actualidad, se encuentran disponibles en el mercado un gran número de Centrales Telefónicas (PBX), para empresas y organizaciones. Por lo tanto, elegir la PBX adecuada para una empresa se vuelve una tarea compleja (Sánchez, 2017). Este proyecto permitirá a los profesionales del área de las TI (Tecnologías de la Información), encargados de administrar los

diferentes servicios de redes y comunicaciones dentro de la empresa, escoger la PBX que se adapte mejor a las necesidades de la organización.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. *Objetivo General***

Realizar el análisis y selección de una PBX IP Open-Source para mejorar el sistema de comunicación en una organización.

##### **1.4.2. *Objetivos Específicos***

- Realizar una revisión sistemática de literatura de la documentación y de proyectos desarrollados sobre la implementación PBX Open-Source.
- Analizar y seleccionar centrales IP Open-Source para implementar en una organización.
- Implementar y configurar el software necesario para el desarrollo de un prototipo de una central IP para una organización.
- Demostrar la potencialidad de la implementación de software Open-Source y sus beneficios.

#### **1.5. Alcance**

Con el desarrollo del presente proyecto, se espera obtener un análisis de todas las PBX Open-Source existentes, además de implementar las mejores de ellas, las cuales serán seleccionadas con base en una matriz comparativa, en la cual se resuman sus características principales. Luego de esto, se espera evaluar las PBX seleccionadas sobre la base de un análisis de funcionamiento de sus servicios, el rendimiento de los códec VoIP y un análisis heurístico, para determinar la experiencia de usuario con respecto a las interfaces de las PBX.

El proceso para llegar a la matriz mencionada, se lo realizará con base en la metodología propuesta por (Martelo et al., 2015), el autor describe cinco fases, en las que se realiza una serie de procesos de investigación. Esta metodología será adaptada con base en los objetivos de este trabajo, para seleccionar las PBX Open-Source existentes, que serán investigadas, analizadas y probadas; de tal forma que podamos determinar cuál es la mejor, para ser implementada en una organización que requiera una plataforma de comunicaciones Open-Source.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1. Antecedentes Investigativos

Las Centrales Telefónicas IP son parte fundamental de la comunicación en una organización, además de ser una tecnología con un sinnúmero de estudios y trabajos realizados, tanto por organizaciones como por investigadores independientes. A continuación, se presentan estudios relacionados con el problema descrito en el Capítulo I, en donde se obtendrán palabras claves o términos importantes que se asemeje con el presente proyecto de titulación.

En la tesis de (Chávez et al., 2015) titulada “Evaluación de un prototipo de central Asterisk implementado sobre la tarjeta Raspberry Pi” se busca diseñar, implementar y evaluar un prototipo de central basada en Asterisk, sobre 4 tarjetas Raspberry Pi para los laboratorios de Telefonía IP correspondientes al Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Por otra parte (Sigcha Morochz, 2018) en su tesis titulada “Análisis del desempeño de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico” en la cual determinan los pros y contras de ambos sistemas, para poder saber qué servidor al momento de implementar un PBX dependiendo de la situación y escenario que se presente.

(Khan & Sadiq, 2017) en su artículo “Design and Configuration of VoIP based PBX using Asterisk server and OPNET platform” pretende desarrollar una red basada en VoIP usando Asterisk, la cual se configuró con la función de soporte a la auto-atención, parking de llamadas, conferencia de llamadas, llamada en espera, buzón de voz, música en espera y notificaciones por correo electrónico.



En el artículo de (Chava & Ilow, 2007) titulado “Integration of Open-Source and Enterprise IP PBXs”, se explora la interoperabilidad entre Cisco Call Manager (CCM) y las centralitas Asterisk basadas en Linux, correspondientes a las centralitas IP de clase empresarial y de código abierto respectivamente.

De acuerdo con las investigaciones mencionadas anteriormente, se seleccionó los términos: VoIP, Telefonía IP, PBX y Open-Source. Además, para mejorar la búsqueda, se tomó en cuenta los repositorios, buscadores y bases de datos más importantes de documentos electrónicos, papers, tesis, publicaciones, etc. Entre estos se puede destacar a IEEE Explorer, la RFC Search, ITU-T, Google academics, ResearchGate, Scielo, el repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## **2.2. Telefonía IP**

### **2.2.1. Definición**

Según el Consorcio Internacional de Ingeniería (IEC), la Telefonía por Internet (Telefonía IP) se refiere a los servicios de comunicaciones de voz o aplicaciones de mensajería de voz que se transportan a través de Internet, en lugar de la red telefónica pública conmutada (RTPC) (Schulzrinne, 2004, pag 1). Además, esta hace uso de estándares de la tecnología de VoIP para construir un sistema de telefonía en el que se utilicen funciones de nivel superior, como el enrutamiento avanzado de llamadas, el correo de voz, los centros de contacto, etc. (Cisco, 2017).

### **2.2.2. VoIP**

Voz sobre el Protocolo de Internet (VoIP) es una tecnología que describe la transferencia de voz (y servicios asociados) en forma digital en paquetes de datos discretos utilizando el Protocolo de Internet (IP), a través de una parte o de toda la ruta de comunicación (en contraste

con los protocolos tradicionales de conmutación de circuitos de la Red Telefónica Pública Conmutada o RTPC) (Phillippa. Biggs, 2007, pag 1).

En otras palabras, este tipo de tecnología implica la digitalización, conversión y compresión de las señales de voz grabadas en paquetes de datos las cuales se transmiten a través de internet o una red privada, para luego volver a ensamblarlas y convertirlas en el otro extremo de la red en comunicación de voz.

### **2.2.3. Ventajas de la Telefonía IP**

De acuerdo con (Uys, 2009, pág. 3), las principales ventajas del uso de la Telefonía IP son el resultado de no la reserva de líneas para fines de comunicación y la transmisión de paquetes de datos junto con otros paquetes de datos en la red de datos. Esto se traduce en un ahorro de costos y el uso eficaz de la red, lo que puede dar lugar a otros beneficios, debido a la digitalización del proceso.

**Ahorro de costes en llamadas telefónicas.** La mayoría de los proveedores internacionales del Servicio Telefónico Ordinario (POTS), dividen el alquiler mensual en un alquiler fijo y cargos por llamadas. Donde las llamadas de larga distancia cuestan más que las de corta distancia. Sin embargo, los proveedores de VoIP en el extranjero suelen cobrar una tarifa mensual fija por el envío de paquetes de datos y la no reserva de líneas, lo que permite la transferencia de datos a larga distancia a través de la red. Esta transferencia de datos a larga distancia y a través de Internet es esencialmente gratuita (Oz, 2004).

**Utilización eficaz de la capacidad de la red.** Otra de las principales ventajas del uso de la telefonía IP, es que una empresa puede aprovechar la capacidad infrautilizada de la red con

unos costes adicionales mínimos. Este beneficio se atribuye al creciente uso de las redes convergentes.

Una red convergente o red multiservicio es aquella que apunta a la integración de servicios de voz, datos y video en una sola red basada en IP como protocolo de capa de red (Liker, 2004). Es decir, una infraestructura de red colectiva permite a cualquier organización tener servicios de manera transversal a través de la red, sin importar la tecnología de acceso utilizada.

**Instalaciones y características adicionales.** El software de VoIP ofrece más capacidades que una línea telefónica tradicional. Muchos paquetes de VoIP incluyen servicios de mensajería, conferencias telefónicas, videollamadas e identificación de llamadas, lo que puede suponer un coste adicional cuando se utiliza un Servicio Telefónico Ordinario (POTS), si es que estas prestaciones están disponibles.

Los paquetes de VoIP también incluyen la transferencia de archivos de datos durante las conversaciones telefónicas, lo que abre un abanico de nuevas posibilidades a otro tipo de servicios de comunicación.

**La Telefonía IP no se limita a una instalación o ubicación directa.** Mientras que el sistema telefónico tradicional limita a los usuarios a un determinado rango geográfico, la Telefonía IP abre las posibilidades a los usuarios que trabajan desde otros lugares de la misma red. Esta ventaja permite que las empresas puedan permitir que los empleados realicen teletrabajo desde cualquier lugar y seguir recibiendo las llamadas telefónicas de su lugar original de trabajo de forma directa.

Los empleados que viajan conservan el acceso a todas sus instalaciones de VoIP siempre que tengan acceso a Internet o a la WAN (Wide Area Network) de la empresa (Werbach, 2005).

**Compatibilidad de VoIP y otras aplicaciones.** La VoIP también puede integrarse con otras aplicaciones informáticas, lo que contribuye a la productividad y eficacia de los usuarios. Las empresas pueden utilizar el software de VoIP para informar a los usuarios sobre noticias de la empresa, partes meteorológicas y horarios de los vuelos, ofrecer videovigilancia y un sinnúmero de opciones más, según el tipo de empresa (Uys, 2009).

**Centralización de los controles de la red.** Las empresas pueden controlar tanto la red de datos como la de voz como una única área de control. Los mismos tipos de controles que se utilizaban antes para controlar la red de datos pueden ahora ampliarse para controlar la red de voz.

#### **2.2.4. Desventajas de la Telefonía IP**

**La telefonía IP requiere de una conexión eléctrica.** La Telefonía IP depende de la red a la que está incorporada, por lo que en caso de un corte eléctrico la red entera se verá afectada. En tales casos y a diferencia de los teléfonos VoIP, los teléfonos normales seguirán funcionando. Después de todo, un cable telefónico es todo lo que se necesita para que funcione un teléfono normal.

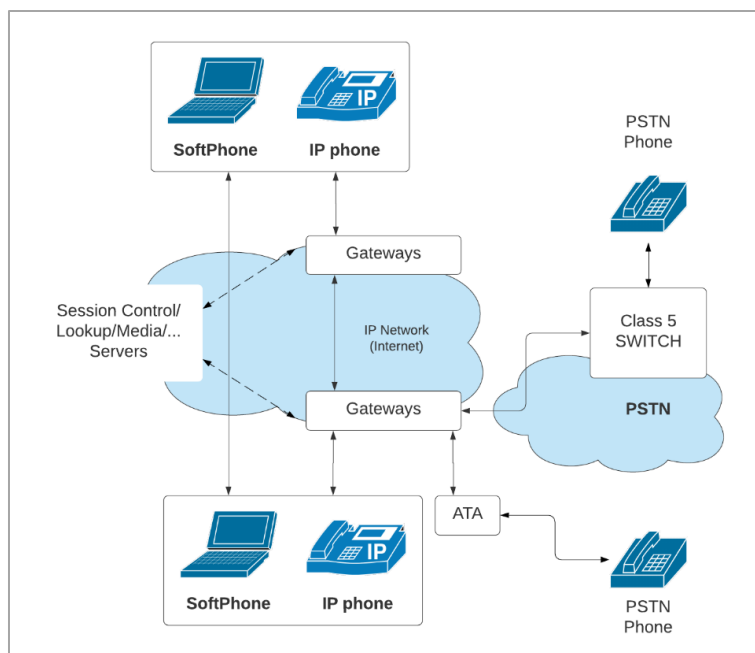
**VoIP utiliza la calidad del servicio de la conexión a red.** Esto significa que la calidad de las conexiones VoIP pueden verse afectadas por problemas de la red a la que estén integradas, como alta latencia (tiempo de respuesta) y pérdida de paquetes. Las llamadas telefónicas pueden verse afectadas por este tipo de problemas. Establecer una conversación VoIP satisfactoria es fundamental para lograr un cierto nivel de estabilidad y calidad en la transmisión de los datos.

**La calidad de las llamadas.** El otro gran problema de la Voz sobre IP es la calidad de las llamadas. A veces hay estática o eco, cuando se utiliza una conexión a Internet para completar la llamada. Bajar el volumen de los auriculares, el micrófono y/o los altavoces debería ayudar a atenuar el problema, si es que no lo elimina por completo (A. Kumar, 2006).

**Llamadas al 911.** Estas también son un problema con un sistema de telefonía basado en VoIP. La telefonía IP basa su funcionamiento en el uso de direcciones IP, para poder reconocer un número de teléfono en específico. El problema es que no hay forma de asociar una dirección IP con un área y cada ubicación geográfica, tiene un número de teléfono de emergencia específico, de ahí el problema en la relación entre el número de teléfono y la parte correspondiente a su sección en el 911 (Phillippa Biggs, 2009).

### **2.2.5. *Arquitectura de la telefonía IP***

A medida que la VoIP se convierte en un servicio de uso generalizado, con usuarios que exigen servicios iguales y superiores a los de la Red Telefónica Conmutada (RTC), se están introduciendo nuevos componentes funcionales en la arquitectura de la VoIP. En consecuencia, la actual arquitectura de VoIP está evolucionando rápidamente al añadir nuevos servicios sobre VoIP y al abordar diversas cuestiones específicas del despliegue de VoIP en las redes de los operadores y la red de área local de las organizaciones (Bhatnagar, 2008). En la Figura 1, podemos observar una arquitectura genérica de VoIP de nueva generación, junto con los requisitos y componentes funcionales.

**Figura 1***Arquitectura VoIP*

*Nota.* Adaptada de Arquitectura VoIP, por John Wiley & Sons, 2008.

**Requisitos arquitectónicos.** De acuerdo con (Bhatnagar, 2008), los requisitos arquitectónicos básicos se derivan de los escenarios de despliegue que permiten un modelo de comunicación flexible. Dado que la arquitectura de VoIP, realiza las llamadas de voz a través de una red IP, de conmutación de paquetes, hay ciertos tipos de modelos de comunicación que debe soportar, estos pueden ser enumerados como:

- **De Internet a Internet:** Este tipo de llamadas incluye las que se originan en un teléfono conectado a Internet y terminan en un teléfono conectado a Internet y toda la ruta permanece dentro de Internet.
- **De Internet a RTC (Red Telefónica Conmutada):** En estas llamadas el llamante tiene un teléfono conectado a Internet mientras que el destinatario está

conectado a la RTC. En este caso, la llamada atraviesa tanto el segmento de la RTC como el de Internet.

- **RTC a Internet:** En este caso, la persona que llama está conectada a la RTC, mientras que la persona que llama tiene un teléfono conectado a Internet. También en este caso, la llamada atraviesa tanto el segmento RTC como Internet.
- **RTC a RTC a través de Internet:** Existe un caso en el que la llamada se origina y termina en dispositivos conectados a la RTC, pero el enrutamiento de la llamada se realiza a través de Internet. Esto puede hacerse porque la comunicación por Internet es más barata y suele utilizarse para las llamadas internacionales.
- **Internet a Internet vía RTC:** Por último, puede darse el caso de que la llamada se origine y termine en dispositivos conectados a Internet, pero una parte de la ruta de la llamada es a través de la RTC. Este puede ser el caso cuando el enlace de conmutación de circuitos a través de la RTPC reduce el retardo de la comunicación mientras que la ruta de Internet de extremo a extremo puede tener un mayor retardo esperado.

### ***2.2.6. Comparación de la Telefonía IP y la Telefonía Tradicional***

Cuando se realiza una llamada telefónica a través del sistema de telefonía tradicional el usuario cuenta con toda una línea disponible, por todo el tiempo de duración de la llamada, aunque existan momentos en que ninguna de las personas se encuentre hablando. La transmisión de la voz se efectúa de forma analógica, a través de impulsos eléctricos. En cambio, cuando la llamada es realizada utilizando la telefonía IP, lo que sucede es que la voz es transmitida de manera digital, es decir es transformada en paquetes, para ser transportados

junto con paquetes de vídeos y de datos, que son generados por otros usuarios conectados a través de un mismo enlace de comunicaciones (Torres Morales, 2008).

## **2.4. Protocolos VoIP**

### **2.4.1. H.323**

El estándar H.323 es un documento que describe el uso de un conjunto de especificaciones para la transmisión de servicios de conferencias multimedia por paquetes, desarrollado y estandarizado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T en 1996.

La Recomendación ITU-T H.323 describe los dispositivos terminales y otras entidades que proveen servicios de comunicación multimedia a través de redes de paquetes (PBN), que pueden no brindar una calidad de servicio garantizada. Las entidades H.323 pueden proporcionar comunicaciones de audio, video y/o datos en tiempo real (Steinke, 2020).

La documentación base que describe el protocolo H.323 y el propio estándar H.323, son los estándares H.225.0 y H.245.

Como documentación adicional, H.323 incluye también los estándares:

- H.235, estándar que describe mecanismos de seguridad en redes basadas en sistemas de control H.245.
- H.248, MEGACO, describe la comunicación interna de todos los elementos de la gateway de la red H.323 y otras redes.
- H.450.x, describen algunos servicios complementarios.
- H.460.x, con algunas extensiones de H.323.
- H.501, para gestión de la movilidad y comunicaciones inter/intra-dominio.
- H.510, documento en el que describe el usuario, el terminal y además el servicio de movilidad.



- H.530, describe los mecanismos de seguridad usados para H.510.

#### **2.4.2. SIP**

Session Initiation Protocol (SIP), es un protocolo de control a través de la capa de aplicación que permite establecer, modificar y finalizar sesiones multimedia (conferencias) como llamadas telefónicas por Internet. También puede invitar a participantes a sesiones existentes, como conferencias de multidifusión. Se pueden añadir y eliminar medios a una sesión existente. SIP soporta de forma transparente los servicios de mapeo y redireccionamiento de nombres, lo que favorece la movilidad personal, es decir los usuarios pueden mantener un único identificador visible externamente con independencia de su ubicación en la red (Schooler, 2002).

Cuando se desarrolló SIP, este fue pensado para poder soportar cinco elementos específicos de la creación y la finalización de las sesiones de comunicación. Estos elementos del protocolo son (Chaffin, 2006):

- Ubicación del usuario, donde el punto final de una sesión puede ser identificado y encontrar, de modo que se pueda establecer una sesión.
- Disponibilidad del usuario, donde el participante al que se llama tiene la oportunidad y capacidad de indicar si desea participar en la comunicación
- Capacidades del usuario, donde se establece el medio que se utilizará en la comunicación y se acuerdan los parámetros de dicho medio.
- Configuración de la sesión, donde se negocian y se establecen los parámetros de la sesión.
- Gestión de la sesión, donde se cambian los parámetros de la sesión, se transfieren datos, se llaman a los servicios y finaliza la sesión.

### **2.4.3. IAX**

IAX (Inter-Asterisk eXchange) es un protocolo de la capa de aplicación que se utiliza para controlar y gestionar sesiones multimedia en una red IP. Fue creado por la comunidad de código abierto de Asterisk PBX (centralita privada) y su objetivo principal es controlar eficazmente las llamadas de voz y flujos de vídeo a través de internet. Mark Spencer, propietario de Asterisk, desarrolló este protocolo con la visión de disminuir la complejidad y reducir las deficiencias de la comunicación VoIP. Por otro lado, IAX utiliza un único flujo de datos UDP en un puerto estático, lo que simplifica enormemente el cruce de la puerta de enlace de la traducción de direcciones de red (NAT), eliminando la necesidad de otros protocolos para evitar la NAT y simplificando la gestión de la red y del firewall (Spencer et al., 1967).

IAX emplea una codificación compacta que disminuye el uso del ancho de banda, siendo muy adecuada para el servicio de telefonía por Internet. Además, su naturaleza abierta permite añadir nuevos tipos de carga útil necesarios para soportar servicios adicionales.

### **2.4.4. MGCP**

El protocolo MGCP (Media Gateway Control Protocol) se utiliza en la comunicación entre MGC (Media Gateway Controller, también llamado Call Agent) y MG (Media Gateway). Es un protocolo de control de capa de aplicación basado en ASCII que se puede utilizar para establecer, mantener y finalizar llamadas entre dos o más puntos finales (M. Arango et al., 1967).

En otras palabras, este es un protocolo maestro / esclavo donde el las pasarelas deben ejecutar los comandos enviados por los agentes de llamada.

## 2.5. Protocolos de transporte en VoIP

### 2.5.1. RTP

RTP permite la transferencia de medios (audio y vídeo) en tiempo real a través de redes de conmutación de paquetes. Lo utilizan tanto SIP como H.323. El protocolo de transporte debe permitir al receptor detectar cualquier pérdida en los paquetes y también proporcionar información de tiempo para que el receptor pueda compensar correctamente el retardo. La cabecera RTP contiene información que ayuda al receptor a reconstruir el medio y también contiene información que especifica cómo se dividen los flujos de bits de los códecs en paquetes. RTP no reserva recursos en la red, sino que proporciona información para que el receptor pueda recuperarse en presencia de pérdidas y jitter (fluctuación del retardo a la variabilidad temporal durante el envío de señales digitales) (Westerlund et al., 2021).

Las funciones que ofrece RTP son las siguientes (Arora, 2000):

- **Secuenciación:** El número de secuencia del paquete RTP se utiliza para detectar paquetes perdidos.
- **Identificación de la carga útil:** En Internet, a menudo es necesario cambiar la codificación de los medios de comunicación de forma dinámica para ajustarse a los cambios en la disponibilidad de ancho de banda. Para proporcionar esta funcionalidad, se incluye un identificador de carga útil en cada paquete RTP para describir la codificación del medio.
- **Indicación del marco:** El vídeo y el audio se envían en unidades lógicas llamadas fotogramas. Para indicar el comienzo y el final de la trama, se ha proporcionado un bit marcador de trama.

- **Identificación de la fuente:** En una sesión de multidifusión hay muchos participantes. Por lo tanto, se necesita un identificador para determinar el origen de la trama. Para ello se ha proporcionado un identificador de fuente de sincronización (SSRC).
- **Sincronización intramedia:** Para compensar los diferentes retrasos de los paquetes dentro del mismo flujo, RTP proporciona marcas de tiempo que son necesarias para los búferes de reproducción.

### **2.5.2. RTCP**

RTCP (Protocolo de transporte en tiempo real) es un protocolo de control y funciona junto con RTP. En una sesión RTP los participantes envían periódicamente paquetes RTCP, para obtener información útil sobre la QoS. De acuerdo con (Durresti & Jain, 2004), los servicios adicionales que RTCP proporciona a los participantes son:

- **Retroalimentación de QoS:** RTCP se utiliza para informar sobre la calidad del servicio. La información proporcionada incluye el número de paquetes perdidos, el tiempo de ida y vuelta, el jitter y esta información es utilizada por las fuentes para ajustar su tasa de datos.
- **Control de sesión:** Mediante el uso del paquete BYE, RTCP permite a los participantes indicar que abandonan una sesión.
- **Identificación:** En los paquetes RTCP se incluye información como la dirección de correo electrónico, el nombre y el número de teléfono para que todos los usuarios puedan conocer la identidad de los demás usuarios de esa sesión.
- **Sincronización intermedia:** Aunque el vídeo y el audio se envían normalmente a través de flujos diferentes, es necesario sincronizarlos en el receptor para que

se reproduzcan juntos. RTCP proporciona la información necesaria para sincronizar los flujos.

### **2.5.3. UDP**

El protocolo de datagramas de usuario (UDP) está ubicado en la capa de transporte y funciona sobre el protocolo IP. UDP es un protocolo minimalista por lo que elimina muchas características de TCP. Además, brinda mecanismos de detección de datos corruptos en paquetes, pero no resuelve todos los problemas referentes a estos, por ende, se conoce a UDP como un protocolo de datos no confiable. A pesar de lo mencionado, UDP es un protocolo rápido en comparación con el resto de protocolos que actúan sobre IP. Su definición está detallada en el RFC 768 (Postel, 2003).

### **2.5.4. TCP/IP**

Las siglas TCP/IP se refiere a un conjunto de protocolos de comunicación de datos. El nombre de esta suite deriva de dos de los protocolos más importantes: TCP (Protocolo de control de transmisión) e IP (Protocolo de Internet) (McGraw-Hill, 2012).

Según (Baeza, 2009), las principales características de este protocolo son:

- Trabaja con flujos de bytes. La capa de aplicación proporciona o recibe bytes individuales de la capa de transporte. El proceso TCP del remitente comprime estos bytes en paquetes de tamaño adecuado para de esta forma mejorar el rendimiento y evitar la fragmentación a nivel IP.
- Transmisión orientada a conexión: Se requiere una secuencia de conexión antes de enviar y recibir datos entre el cliente y el servidor y finalmente desconectar. Esta conexión significa que solo dos computadoras (cliente y servidor) están involucradas en el intercambio de datos.

- **Fiabile:** Usa un control de flujo mediante una ventana deslizante de envío continuo y asentimientos positivos ACKS (Acknowledgements), para confirmar que se ha recibido una trama válida. Las ventanas desplazables se aplican a bytes. Los bytes están numerados y autenticados, no los paquetes.
- **Un flujo ordenado de bytes:** IP procesa el datagrama, pero el proceso TCP receptor ordena los paquetes que recibe y entrega el nivel más alto de bytes en secuencia.

## **2.6. Códecs VoIP**

### **2.6.1. G.711 Ley A (A-LAW) y ley U (U-LAW)**

Estas son actualmente las reglas más utilizadas para la compresión de segmentos y la generación del códec G711. La ley A se usa en los sistemas PCM europeos y la ley U se usa en los sistemas PCM americanos. La implementación del sistema consiste en aplicar una señal logarítmica a la señal de entrada y, una vez procesada, realizar una cuantificación uniforme. Este códec tiene una latencia más baja que otros y por ende no requiere de una compresión. Es decir, no requiere de mucha potencia de procesamiento, pero usa más ancho de banda (ITU-T, 1993).

### **2.6.2. G.722**

El decodificador puede funcionar a 48, 56 o 64 Kbps y utiliza 14 bits a una frecuencia de muestreo de 16 KHz para convertir la señal de audio en una señal digital uniforme. Es una evolución del códec G.711 (ITU-T, 1988).

### **2.6.3. G.723**

Este códec tiene dos velocidades binarias asociadas: 5.3 y 6.3 kbps. Ambas velocidades son una parte integral del codificador y del decodificador. También hay la posibilidad de conmutar entre las dos velocidades en cualquier límite de la trama. Además, es posible una opción de funcionamiento con velocidad variable, utilizando transmisión discontinua y completado de ruido durante los intervalos sin voz.

### **2.6.4. G.726**

Este códec se utiliza en aplicaciones que requieren una reproducción de audio potente y de alta calidad. Además, funciona a 16, 24, 32 o 40 Kbps, pero es más utilizado a 32 Kbps, por ocupar la mitad del ancho de banda que el códec G.711. Esto aumenta la capacidad de red disponible a su máxima capacidad (CCITT, 1990).

### **2.6.5. G.729**

El códec G.729 es un estándar que permite realizar llamadas múltiples con un ancho de banda limitado. Este decodificador puede funcionar a una tasa de bits de 8 Kbps, pero también hay extensiones que funcionan a 6.4 Kbps y 11.8 Kbps, lo que reduce o mejora la calidad de conversión (ITU-T, 1996).

### **2.6.6. GSM**

Este códec está estandarizado para su uso en comunicaciones móviles de tercera generación (3G) y utiliza frecuencias de radio de dos canales para proporcionar una interfaz inalámbrica o un sistema TDMA de banda estrecha entre la base y el teléfono móvil. Trabaja a 13 Kbps (ETSI, 1995).

### 2.6.7. *iLBC*

Este decodificador está diseñado principalmente para ahorrar ancho de banda utilizado en potentes aplicaciones VoIP y puede funcionar a 13.33 Kbps o 15.2 Kbps. Además, puede enfrentar eventualidades de pérdida de los paquetes por términos de conexión o retraso (Andersen et al., 1967).

### 2.6.8. *Speex*

Este decodificador fue creado con la intención de tener un decodificador completamente gratuito, para aplicaciones de voz sin restricciones de patentes, bajo la licencia BSD12, funciona a tasas de 2.15 a 44.2 Kbps. Speex está diseñado para aplicaciones VoIP y compresión basada en archivos a diferencia de otros códecs, que también son utilizados en teléfonos móviles, es decir, garantiza la completa entrega de paquetes o no entrega de los mismos (Valin, 2007).

### 2.6.9. *Análisis de los códecs VoIP*

En la Tabla 1 se resumen los códec mencionados anteriormente, comparando su ancho de banda y su estándar correspondiente.

**Tabla 1**

*Comparación del ancho de banda de los códecs para VoIP*

<b>Códec</b>	<b>Estándar</b>	<b>Ancho de banda / Bit rate (kbps)</b>
G.711	ITU-T	64 kbps
G.722	ITU-T	48, 56 o 64 kbps
G.723	ITU-T	5.6 y 6.3 kbps
G.726	ITU-T	16, 24, 32 Y 40 kbps
G.729	ITU-T	8 kbps



Códec	Estándar	Ancho de banda / Bit rate (kbps)
GSM	ETSI	13 kbps
Speex	-----	Variable de entre 2.15 a 44.2 kbps
iLBC	-----	13.33 o 15.2 Kbps

*Nota.* Creación propia.

## 2.7. Centrales Telefónicas – PBX

Una PBX (en inglés Private Branch Exchange, en español Red Telefónica Privada), es un sistema de conmutación telefónica que conecta varias extensiones de una oficina entre sí y con un pequeño número de líneas exteriores. Hoy en día, las PBX son la base de las soluciones de colaboración que incluyen mensajería y soporte de chat, videoconferencia, movilidad y respuesta de voz interactiva (IVR), así como llamadas de voz.

### 2.7.1. Tipos de PBX

**De acuerdo con** (Cisco System, 2021), existen cuatro tipos de de PBX, las cuales detallamos a continuación:

**PBX tradicionales.** Una PBX tradicional se conecta a las líneas telefónicas fijas a través de un hardware dedicado, normalmente una consola de conmutación. Todas las conexiones son cableadas y crean una red de voz física separada de la red de datos corporativa.

**PBX IP: Alojada en la nube.** Esto significa costos reducidos de hardware y TI. Otras ventajas son una mayor escalabilidad y personalización; la posibilidad de utilizar un teléfono IP, un teléfono fijo o un softphone (un auricular conectado a un ordenador); y una mayor integración con aplicaciones externas y herramientas de CRM (gestión de relaciones con los clientes).

Además, una PBX IP no sólo es ampliable, sino también actualizable. Por ende, siempre trabajará con la tecnología más reciente y tendrá más funciones y componentes que los sistemas PBX anteriores. Una centralita IP también permite gestionar fácilmente los usuarios, la configuración y las funciones desde una interfaz basada en la web.

**PBX IP: Alojadas localmente.** Una PBX IP local, o híbrida, utiliza la LAN (red de área local) para conectar las extensiones a un servidor en el lugar, para luego conectar las llamadas a través de internet. También puede adaptarse para conectarse a las líneas telefónicas tradicionales. Aunque esta opción funciona en la nube, sigue requiriendo un hardware importante y una configuración en el sitio.

**PBX VoIP: alojadas de forma remota.** Una PBX totalmente IP o alojada prescinde del servidor local y reside completamente en la nube, utilizando únicamente VoIP (voz sobre IP) para conectar y transmitir las llamadas. Esta opción suele ofrecerse como un servicio, lo que significa que no hay que comprar hardware y los costes iniciales son menores.

La mayoría de los proveedores no le exigen que compre nada más que las extensiones de teléfonos IP. Así pues, la centralita VoIP puede ser una buena opción para las pequeñas empresas o las compañías con un presupuesto limitado.

## **2.8. Servicios avanzados de telefonía IP**

Los servicios avanzados de la Telefonía IP se deben a la existencia de las Comunicaciones Unificadas, cuyo objetivo es brindar acceso en un entorno único y fácil de usar, que promueva una experiencia de usuario más simple, más completa y eficiente. Integrar las funciones de comunicación directamente en las aplicaciones de negocio es clave para una optimización de los procesos de negocio (Cisco System, 2006).

### **2.8.1. Telefonía IP y videoconferencias**

Los sistemas telefónicos basados en IP, facilitan la implementación de características opcionales que los sistemas telefónicos tradicionales no tienen, al agregar dichas características dentro de las capacidades de los gateways de registro. Estas funciones opcionales se traducen a servicios de valor agregado como el control de acceso, autorización de llamadas, grupo de salto, buzón de voz-correo electrónico y las videoconferencias.

### **2.8.2. Mensajería unificada**

La mensajería unificada hace referencia a plataformas que pueden administrar, recibir, enviar, guardar, organizar y buscar mensajes desde el correo electrónico. Inicialmente la mensajería solo cubría el sistema de correo electrónico. Y, tiempo después con el desarrollo de otros medios de comunicación, se hace necesario el manejo de una sola plataforma para, la mensajería instantánea, teléfono fijo en la oficina mediante el buzón de voz y teléfonos inalámbricos, generalmente teléfonos móviles.

### **2.8.3. Sistemas Call Center**

Un centro de llamadas es un área donde operadores o agentes capacitados pueden realizar llamadas salientes, recibir llamadas entrantes y comunicarse con clientes externos o internos, socios comerciales, afiliados y más. Estos centros de llamadas, a menudo denominados "Call Centers", son operados por proveedores de servicios que administran y brindan soporte y asistencia en función de los productos, servicios o información que necesitan los consumidores.

### **2.8.4. Teletrabajo**

Según (ECaTT, 2000), los teletrabajadores, son personas que trabajan de forma computarizada, alejados del negocio de su empleador o de la persona que los contrata, y que

transmiten los resultados de su actividad vía un enlace de telecomunicación. Las soluciones de telefonía IP integran aplicaciones de voz, datos, vídeo y movilidad en redes fijas y móviles, brindando la posibilidad de que los usuarios puedan comunicarse en cualquier lugar de trabajo y a través de cualquier dispositivo, medio o sistema operativo (Katherine, 2015). Por lo tanto, las soluciones de telefonía IP son indispensables en la época actual en la que vivimos, ya que integran servicios que cumplen con las expectativas del teletrabajo aplicado a nuestra situación actual.

## **2.9. Calidad del Servicio (QoS) para VoIP**

Según la UIT, la calidad de servicio (QoS) se define como el conjunto de características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas de sus usuarios (UIT-T, 2008).

### **2.9.1. Calidad del Servicio QoS**

La ITU-T, define QoS como la totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio (UIT-T, 2008, pag 3).

### **2.9.2. Parámetros QoS**

En QoS, los parámetros son las características cuantificables de un aspecto del servicio y están determinados por ciertos límites. Además, de que estos pueden ser objetivos o subjetivos (UIT-T, 2008, pág. 4).

**Parámetros objetivos (cuantitativos).** Los parámetros medibles (de instrumentos u observaciones) y los valores de rendimiento asignados cuantitativamente se pueden clasificar como parámetros objetivos. Por ejemplo, la tasa de errores de un canal, tiempo de reparación.

**Parámetros subjetivos (cualitativos).** Los parámetros que pueden describirse mediante juicios y conceptos humanos se pueden clasificar como parámetros subjetivos o cualitativos.

### **2.9.3. Variantes y Características**

Los servicios de datos y los servicios multimedia tienen diferentes requisitos de calidad para la latencia y el jitter. La gestión de colas de paquetes, la reserva de ancho de banda y la gestión del tráfico se utilizan para satisfacer dichos requerimientos. Se han identificado variantes de servicio para lograr estos resultados.

**Jitter.** El Jitter es una variación en el tiempo de llegada de un paquete debido a la congestión de la red, la falta de sincronización o las diferentes rutas que toma el paquete para llegar a su destino. Esto sucede a menudo con redes de datos no orientadas a la conexión y lentos basados en conmutación de paquetes (Carmona, 2014).

**Latencia.** La latencia también conocida como retardo, es un problema común de las redes de telecomunicaciones; y es el tiempo que se demora un paquete en llegar desde la fuente al destino (Carmona, 2014).

**Pérdida de paquetes.** Esto sucede a menudo en las comunicaciones en tiempo real basadas el protocolo UDP, el cual no está orientado a conexión, por lo que, si se genera una pérdida de paquetes, estos no serán reenviados. Además, la pérdida de paquetes también se ocasiona por la eliminación de paquetes que no logran llegar a tiempo al receptor.

**Umbral de Aceptación para VoIP.** Según (Ermez Hard & Soft, 2014), define los umbrales máximos para la clasificación en: Excelente, bueno, Aceptables y Pobres de Jitter,

Latencia y Pérdida de paquetes, basándose en las recomendaciones de la ITU-T: P.8080, P.830, P.862.1. Estos umbrales se los puede observar en Tabla 2.

**Tabla 2**

*Umbrales de aceptación para VoIP*

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

*Nota.* Tomado de Calidad Voz Ip, por Ermez Hard & Soft, 2014.

#### 2.9.4. MOS

MOS (Mean Opinion Score) es la medida de la calidad de la voz de manera subjetiva según la recomendación ITU-T P.800, sirve para conocer la calidad del audio de las llamadas. El cálculo se realiza a través de algoritmos y fórmulas, para luego distribuir el resultado sobre una escala del 1 al 5. En la Tabla 3, se muestra la calificación del MOS (Chávez et al., 2015).

**Tabla 3**

*Calificación MOS*

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

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

Con base en los umbrales de aceptación para VoIP, se puede obtener una calificación MOS acorde a la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Parámetros de QoS y MOS*

<b>MOS</b>	<b>Jitter</b>	<b>Latencia</b>	<b>Pérdida de Paquetes</b>
<b>Excelente</b>	Excelente	Excelente	Excelente
<b>Excelente</b>	Excelente	Bueno	Excelente
<b>Excelente</b>	Bueno	Excelente	Excelente
<b>Bueno</b>	Excelente	Bueno	Bueno
<b>Bueno</b>	Bueno	Excelente	Bueno
<b>Bueno</b>	Bueno	Bueno	Excelente
<b>Aceptable</b>	Bueno	Bueno	Bueno
<b>Aceptable</b>	Bueno	Bueno	Aceptable
<b>Aceptable</b>	Bueno	Aceptable	Bueno
<b>Aceptable</b>	Aceptable	Bueno	Bueno
<b>Pobre</b>	Aceptable	Bueno	Aceptable
<b>Pobre</b>	Aceptable	Aceptable	Bueno
<b>Pobre</b>	Bueno	Aceptable	Aceptable
<b>Pobre</b>	Aceptable	Aceptable	Aceptable
<b>Pobre</b>	Pobre	Aceptable	Aceptable
<b>Pobre</b>	Aceptable	Pobre	Aceptable
<b>Pobre</b>	Aceptable	Aceptable	Pobre
<b>Malo</b>	Pobre	Pobre	Aceptable
<b>Malo</b>	Pobre	Aceptable	Pobre
<b>Malo</b>	Aceptable	Pobre	Pobre
<b>Inaceptable</b>	Pobre	Pobre	Pobre

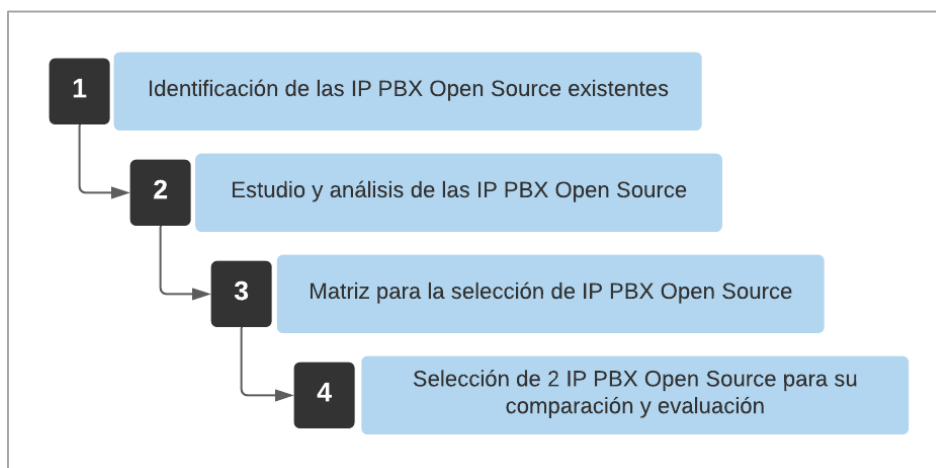
*Nota.* Tomado de Evaluación de un prototipo de central Asterisk implementado sobre la tarjeta Raspberry PI, por Chávez M. & Saltos D., 2015.

## 2.10. Contexto del Trabajo

En esta sección se presenta la metodología propuesta, para facilitar la selección de IP PBX según sus características, ventajas y desventajas, situación que puede ser compleja al estar frente a múltiples aplicaciones IP PBX existentes hasta la actualidad. La Figura 2 muestra un diagrama esquemático de la metodología para seleccionar una aplicación de VoIP. El método propuesto consta de cuatro fases, las cuales se detallan a continuación:

**Figura 2**

*Fases de la metodología de trabajo*



*Nota.* Metodología adaptada de “Metodología para Seleccionar Aplicaciones de la Tecnología de comunicaciones Voz sobre la IP (VoIP) para pequeñas y medianas Empresas (Pymes), por Raúl J. Martelo, Isamar Blanquicet & Lilibeth Rodríguez, 2015.

Fase 1: La primera fase se basa en investigar cuáles son las IP PBX Open-Source existentes hasta la actualidad. De los cuales se determinaron los siguientes:

- Asterisk
- Elastix (v4.0)



- FreePBX
- Issabel
- SipXcom
- FREESWITCH

Fase 2: La segunda fase consiste en un estudio bibliográfico de cada una de las IP PBX Open-Source seleccionadas en la primera fase. De las cuales se pretende obtener información de carácter descriptiva y de sus funcionalidades.

### **2.10.1. Asterisk**

Asterisk es un software IP PBX Open-Source, escrito en lenguaje de programación C y que funciona en sistemas operativos Linux. Este PBX usa de la tecnología de VoIP y todos sus protocolos, por lo que es compatible con cualquier dispositivo que aplique estándares relacionados a VoIP, de esta manera proporciona todos los servicios de una central telefónica (Bose & Al-mumin, 2007).

**Beneficios de Asterisk.** Las ventajas asociadas a una PBX basada en Asterisk podrían resumirse en las siguientes:

- Bajo coste de implementación
- Trabajo sobre el protocolo TCP/IP
- Centralita con características mejoradas
- Bajo mantenimiento requerido
- Convergencia de voz, vídeo y datos en una única conexión
- Fácil de añadir o eliminar extensiones adicionales.

Asterisk hace la conmutación PBX, la traducción CODEC y varias otras aplicaciones como buzón de voz, puente de conferencia, IVR y varias otras (Imran et al., 2009).

**Arquitectura de Asterisk.** Asterisk está cuidadosamente diseñado para obtener la máxima flexibilidad. Las API específicas se definen en torno a un sistema de núcleo central de PBX. Este núcleo avanzado gestiona las conexiones internas de la PBX, bien resumidas a partir de los protocolos, códecs e interfaces de hardware específico de las aplicaciones de telefonía. Este permite a Asterisk utilizar cualquier hardware y tecnología adecuada disponible actualmente o en el futuro para realizar sus funciones principales, conectando el hardware y las aplicaciones (Yamamoto et al., 2008).

El núcleo de Asterisk maneja internamente los siguientes elementos:

- **Conmutación PBX:** Por supuesto, la esencia de Asterisk es un sistema de conmutación PBX que vincula llamadas entre múltiples usuarios y tareas automatizadas. El núcleo de conmutación conecta sin problemas las llamadas entrantes a través de una variedad de interfaces de hardware y software.
- **El lanzador de aplicaciones:** Lanza aplicaciones que realizan servicios de uso, como el buzón de voz, la reproducción de archivos y el listado.
- **Traductor de Codec:** Este utiliza módulos de códecs para la codificar y decodificar varios formatos de compresión de audio utilizados en la industria de la telefonía. Hay varios códecs disponibles para ayudarlo a lograr el mejor equilibrio entre la calidad de audio y el uso del ancho de banda.
- **El programador y el gestor de I/O:** Se encargan de la programación de tareas de bajo nivel y de la gestión del sistema para obtener un rendimiento óptimo en todas las condiciones de carga.
- **Canal API:** El canal API controla el tipo de conexión por la que llega una persona que llama, ya sea una conexión VoIP, ISDN PRI, señalización de bits robados u

otra tecnología. Los módulos dinámicos se cargan para mantener la capa inferior. (Thorne, 2001).

- **Aplicación API:** La API de la aplicación permite ejecutar varios módulos de tareas que realizan diversas funciones como Conferencias, busca personas y listado de directorios. Correo de voz, transmisión de datos en línea y otras tareas que el sistema PBX puede realizar ahora o en el futuro son manejados por estos módulos separados (Thorne, 2001).
- **Módulo cargable de API'S:** Se definen cuatro APIs para los módulos cargables, facilitando la abstracción del hardware y del protocolo. Utilizando este sistema de módulos cargables, el núcleo de Asterisk no tiene que agonizar sobre los detalles de cómo se está conectando una persona que llama, qué codecs están en uso, etc. Mediante estas APIs, Asterisk consigue una abstracción absoluta entre sus funciones principales como servidor PBX y las variadas tecnologías existentes (o en desarrollo) en el ámbito de la telefonía. La aplicación API utilizan módulos de aplicación de manera flexible para realizar todas las funciones necesarias, lo que permite el desarrollo de nuevas aplicaciones adaptadas a sus necesidades y circunstancias (Davidson, 2006).
- **Formato de archivo API:** Esto maneja la lectura y escritura de varios formatos de archivo para almacenar datos en el sistema de archivos. Usando estas APIs, Asterisk logra una completa abstracción entre sus funciones principales, como sistema de servidor PBX y las tecnologías divergentes existentes (o en desarrollo) en el ámbito de la telefonía (Bourreau & Doğan, 2004).

**Versiones de Asterisk.** Hay múltiples series de versiones soportadas de Asterisk. Una vez que una serie de versiones está disponible, recibe soporte durante un periodo de tiempo. Durante este periodo de soporte inicial, las versiones incluyen cambios para arreglar los errores que se han reportado y las características que se han añadido siguiendo la política (las características no deben introducir comportamientos incompatibles hacia atrás y deben incluir pruebas cuando sea posible). En algún momento, la serie de versiones quedará obsoleta y sólo se mantendrá con correcciones de problemas de seguridad. Por último, la versión llegará al final de su vida útil, donde ya no recibirá cambios de ningún tipo (Asterisk, 2020).

El tipo de versión define el tiempo de soporte. Las versiones de soporte a largo plazo (LTS) son totalmente compatibles durante cuatro años con un año adicional de mantenimiento para las correcciones de seguridad. La versión estándar será compatible por un período más corto. Será al menos un año de soporte completo y un año adicional de mantenimiento para los parches de seguridad (Asterisk, 2020).

En la Tabla 5, se muestran las líneas de tiempo de las versiones más recientes de Asterisk, incluyendo las que han llegado al final de su vida útil.

**Tabla 5**

*Últimas versiones disponibles de Asterisk*

<b>Serie de lanzamiento</b>	<b>Tipo de lanzamiento</b>	<b>Fecha de lanzamiento</b>	<b>Solo arreglo de seguridad</b>	<b>EOL</b>	<b>Vida útil y Soporte</b>
18.x	LTS	2020-10-20	2024-10-20	2025-10-20	On
17.x	Standard	2019-10-28	2020-10-28	2021-10-28	On
16.x	LTS	2018-10-09	2022-10-09	2023-10-09	On
13.x	LTS	2014-10-24	2014-10-24	2014-10-24	On

*Nota.* Adaptado de *Asterisk Versions*, por Asterisk Project, 2020.

**Plataformas soportadas.** Asterisk puede instalarse en una amplia gama de plataformas, incluyendo varias distribuciones de Linux. Sin embargo, como proyecto, sólo se puede probar y dar soporte a un subconjunto de ellas. El proyecto Asterisk es compatible con plataformas x86 de 32 y 64 bits utilizando distribuciones de Linux como: CentOS, RHEL, Fedora, Ubuntu y Debian que no han llegado al final de su vida útil. El soporte para otras plataformas y distribuciones de Linux es el mejor esfuerzo y es proporcionado por la comunidad. Cualquier cambio para permitir dichas plataformas no debe obstaculizar o romper las distribuciones de Linux soportadas por el proyecto (Asterisk, 2019).

**Funcionalidades y servicios destacados.** Según una reseña realizada por Sangoma (empresa proveedora de hardware y software para voz sobre IP), nos describe las siguientes funcionalidades con las que se destaca Asterisk (Sangoma, 2018):

- Centro de atención telefónica virtual
- Enrutamiento de llamadas
- Gestión de centros de atención telefónica
- Mensajería SMS
- Reconocimiento IVR y de voz
- Videoconferencia
- E911

**Códecs y Protocolos VoIP.** (Asterisk, 2021), menciona que Asterisk hace uso de los siguientes Códecs y protocolos VoIP (Tabla 6), para su correcto funcionamiento:

**Tabla 6**

*Lista de Códecs y Protocolos VoIP utilizados por Asterisk*

<b>Códecs</b>	<b>Protocolos VoIP</b>
ADPCM	Google Talk
CELT (pass through)	H.323
G.711 (A-Law & $\mu$ -Law)	IAX™ (Inter-Asterisk eXchange)
G.719 (pass through)	Jingle/XMPP
G.722	MGCP (Media Gateway Control Protocol)
G.722.1 licensed from Polycom®	SCCP (Cisco® Skinny®)
G.722.1 Annex C licensed from Polycom®	SIP (Session Initiation Protocol)
G.723.1 (pass through)	
G.726	
G.729a	
GSM	
iLBC	
Linear	
LPC-10	
Speex	
SILK	

*Nota.* Adaptado de Asterisk Wiki, por Asterisk Project, 2020.

### **2.10.2. Elastix**

Es un software de servidor UC de código abierto, desarrollado en 2006 por la empresa ecuatoriana Palo Santo Solutions para establecer Comunicaciones Unificadas que reúne las funcionalidades de IP PBX, correo electrónico IM, fax y colaboración. Su objetivo es incorporar todas las alternativas de comunicación, disponibles a nivel empresarial, en una solución única. Se lanzó como una distribución de Linux con asterisk, zaptel y una serie de otros paquetes que se administraban fácilmente a través de una interfaz web fácil de usar que llamó la atención de

la comunidad en diciembre de 2006. Dispone de una interfaz web e incluye capacidades como un software de centro de llamadas con sistema predictivo (Li et al., 2011).

Actualmente 3CX es el nuevo Elastix. Palosanto, el fabricante del popular distribuidor de PBX Elastix, y 3CX, el desarrollador líder de software PBX, anunciaron el 7 de diciembre de 2016 que el motor de telefonía Elastix 5 estará impulsado por 3CX (Sánchez, 2016).

La última versión Open-Source disponible de este software es la 4.x. incorpora las últimas tecnologías disponibles. Una de las principales características de esta versión es el producto “WebRTC ready”, con el que se facilita enormemente la integración de VoIP en plataformas Web, permitiendo integrar llamadas de video y audio los navegadores, incluso permitiendo recibir llamadas desde el sitio web de la organización en la que se incorpore. Además, cuenta con los CODECS más recientes de código abierto, como Opus o VP8, con lo cual permite obtener una experiencia de comunicaciones de la más alta calidad. Está basado en CentOS 7, lo que mejora el soporte de hardware y garantiza la longevidad y actualizaciones de la plataforma y sus componentes (Elastix, 2016).

**Funcionalidades y servicios destacados.** Elastix cuenta con una variedad de funcionalidades muchas de las cuales están provistas por Asterisk (Landívar, 2008):

- Contestación Automática de llamadas
- Transferencia de Llamadas
- Parqueo de Llamadas
- Contestación de una llamada a una extensión remota
- Monitoreo y Grabación de Llamadas
- Voicemail
- Conferencias

- Colas de atención
- Identificador de Llamante
- Recepción de Fax
- Listado Interactivo del directorio de extensiones
- Interactive Voice Response (IVR)
- Manejo de comportamiento por tiempo (Time Conditions)
- Follow me

**Códecs y Protocolos VoIP.** (Landívar, 2008) también menciona como parte de las características del IP PBX de Elastix, su compatibilidad con los siguientes Códecs y Protocolos VoIP:

**Tabla 7**

*Lista de Códecs y Protocolos VoIP utilizados por Elastix*

Códecs	Protocolos VoIP
ADPCM	SIP
G.711 (A-Law & $\mu$ -Law)	IAX
G.722	H323
G.723.1 (pass through)	MGCP
G.726	SKINNY
G.729	
GSM	
iLBC	

*Nota.* Creación propia.



### **2.10.3. FreePBX**

Actualmente FreePBX se puede considerar como la plataforma abierta más confiable del mercado para el desarrollo y control de sistemas PBX. Es esencialmente, un registrador gráfico de archivos de configuración, y usuarios, basado en web y de código abierto, que permite a las organizaciones que optan por usar el software PBX Asterisk ahorrar tiempo, ya que pueden realizar mucho más fácilmente el registro de sus propios planes de marcación y archivos de configuración, y centrarse en otros aspectos de la configuración del sistema de comunicaciones VoIP (Sangoma, 2004).

En otras palabras, FreePBX es un programa que funciona junto con Asterisk y una serie de otros programas para facilitar la instalación y configuración de un PBX VOIP. Por sí solo, FreePBX no podría funcionar. También depende de la instalación de Linux, Asterisk, Dahdi, Postfix / Sendmail, TFTP y muchos otros programas (Sangoma, 2016).

**Funcionalidades y servicios.** Según (Sangoma, 2004), FreePBX posee las siguientes funcionalidades:

- ACD (distribución automática de llamadas) /Colas de llamadas
- Anuncios
- Operadora automática / IVR
- Copia de seguridad automática
- Lista negra
- Salas de conferencias
- Indicaciones de voz personalizadas
- (DISA)
- Gestión de extensiones

- Fail2ban
- Sígueme
- Informes gráficos
- Envío de faxes integrado
- Compatibilidad con varios idiomas
- Usuarios remotos
- Estándares abiertos SIP
- Soporte de Soft-Phone
- SRTP

**Versiones de FreePBX.** Actualmente se encuentran disponibles las siguientes versiones de este PBX (Tabla 8), las mismas que son accesibles desde su página oficial.

**Tabla 8**

*Versiones de FreePBX disponibles*

Arquitectura	Versión	Descripción
64-bit	<b>FreePBX 15</b> Linux 7.8 Asterisk 13, 16 or 17 Supports UEFI and Legacy BIOS booting	STABLE SNG7-PBX-64bit-2104-1
	<b>FreePBX 14</b> Linux 7.6 Asterisk 13 or 16 Supports UEFI and Legacy BIOS booting	HISTORICAL SNG7-PBX-64bit-1904
32-bit	<b>FreePBX 13</b> Linux 6.6 Asterisk 11 or 13 Supports Legacy BIOS booting ONLY	HISTORICAL (End of Life 2016) 10.13.66-32bit

*Nota.* Creación propia.

**Códecs y protocolos VoIP.** (Smith & Blumenthal, 2019), ejecutivos de Sangoma afirman que estos (Tabla 9) son algunos de los códecs y protocolos IP que FreePBX soporta.

**Tabla 9**

*Lista de Códecs y protocolos VoIP utilizados por FreePBX*

Códecs	Protocolos VoIP
G.722	SIP V2
G.711 alaw/ulaw	H.323
G.723	Megaco
G.723	MGCP
G.729A/B	
T.38	
iLBC	
AMR-NB	
AMR-WB	
GSM-EFR	
GSM-FR	

*Nota.* Adaptado de FreePBX [Documentation], por Jared K. Smith & Gregory Blumenthal, 2019.

#### **2.10.4. Issabel**

Issabel es un software libre de código abierto basado en una filosofía Open-Source, unifica las comunicaciones de cualquier organización en una sola plataforma y está basado en Asterisk (Digium la compañía de Asterisk) integra PBX, correo y tareas de colaboración, también integramos un servidor de base de datos. Uno de sus objetivos es hacer evolucionar la plataforma hacia cualquier cosa que se necesite, no importa la propuesta (Issabel, 2017).

La comunidad alrededor de Issabel está formada por un grupo de profesionales apasionados de diferentes países que creen en el poder del código abierto para transformar el mercado de las tecnologías de la información y comunicación, además de traer nuevos conocimientos al mundo, experiencias y pasión por el código.

Además, se puede decir está arraigada en el compromiso de las personas, las comunidades y las empresas para transformar la forma en que se comunican y colaboran, sentando las bases para una innovación significativa y el intercambio de conocimientos (Issabel, 2017).

**Funcionalidades y servicios de Issabel.** Según (Scarlet, 2013), Issabel es una plataforma que simplifica la gestión de tus canales de interacción empresarial, incorporando una Central Telefónica (VoIP) con correo electrónico, CRM, fax, videoconferencia, grabación, reportes y muchas otras funcionalidades básicas como:

- Soporte para interfaces analógicas y digitales
- Panel de administración flexible
- Monitoreo en tiempo real
- Sígueme (llamadas)
- Llamada en espera
- Grupos de marcado
- Grabación de llamadas
- Buzón de voz a correo electrónico
- Identificador de llamadas
- Música en espera personalizada
- DISA (Acceso a las funciones de la Central Telefónica desde afuera)

**Versiones de Issabel.** La versión más actual de Issabel según (Issabel Team, 2017), es la denominada: Issabel 4.0 – Release 2 (20170714). La cual presenta los siguientes cambios y mejoras a sus versiones anteriores:

- Let's Encrypt está incluido en el menú Seguridad. Instale nuevos certificados SSL / TLS de Issabel.
- Soporte uEFI
- Mejoras en la herramienta de migración
- Traducciones de chino y portugués
- Nuevo diseño en el menú de configuración de PBX
- Corrección de errores
- Mejoras de estabilidad y rendimiento

**Códex y protocolos VoIP.** Los siguientes códex y protocolos IP (Tabla 10), son aquellos soportados por Issabel, los mismos que son heredados del sistema de Elastix 4.

**Tabla 10**

*Lista de códex y protocolos VoIP utilizados por Issabel*

Códex	Protocolos VoIP
ADPCM	SIP
G.711 A-law/ $\mu$ -law	IAX
G.719	SKINNY
G.722	
G.722.1 Siren7	
G.722.1C Siren14	
G.723.1	
G.726	
G.726 AAL2	

<b>Códecs</b>	<b>Protocolos VoIP</b>
G.729A	
GSM	
ILBC	
Speex	
Signed Linear PCM	
Ogg Vorbis	
Opus	
wav (SLIN)	
WAV (GSM)	

*Nota.* Creación propia.

### **2.10.5. sipXcom**

SipXcom es una PBX de código abierto que ofrece telefonía empresarial completa, mensajería unificada, mensajería instantánea, conferencias de voz y otras funciones y servicios. sipXcom puede trabajar y ejecutarse junto con Cisco, Avaya, Mitel, Shortel u otra PBX existente al mismo tiempo en el que los usuarios migren al sistema de sipXcom (sipXcom, n.d.).

Además de ejecutar sipXcom en un servidor o grupo de servidores (tanto en entornos virtuales como en la nube), sipXcom admite teléfonos locales SIP basados en estándares, clientes de software, Gateway, SBC y se ejecuta en una infraestructura de red conmutada basada en IP (sipXcom, n.d.).

**Funcionalidades y Características.** Según (Picher, 2015), algunas de características y funcionalidades de sipXcom que se pueden destacar son las siguientes:

- Servidor de conferencias basado en FreeSWITCH
- Llamadas internas / externas
- Gestión de mensajería unificada (buzón de voz)

- Anclaje de medios admite voz y video para cualquier códec
- Permite agregar contactos al directorio desde un archivo .csv (Excel)
- Número ilimitado de llamadas simultáneas (voz, voz HD, video): solo depende del ancho de banda LAN / WAN
- Prevención de ataques DoS
- Sistema de mensajería unificado integrado
- Servidor de conferencias de voz que puede ejecutarse en el mismo servidor sipXcom o en hardware dedicado
- Media server for unified messaging and IVR (auto-attendant) services

**Códecs y protocolos VoIP en sipXcom.** Los siguientes códecs y protocolos VoIP (Tabla 11), se heredan de FreeSWITCH, ya que sipXcom se basa en este.

**Tabla 11**

*Lista de códecs y protocolos VoIP utilizados por sipXcom*

<b>Códecs</b>	<b>Protocolos VoIP</b>
OPUS	SIP
iSAC	H.323
SILK Skype Audio codec	IAX2
iLBC@30i - iLBC	SCCP (Skinny)
Speex	Jingle / Google Talk
BroadVoice	Skype
Siren	GSM
CELT wideband	ALSA
DVI	PortAudio
GSM@40i	
G722	
G.726	

Códecs	Protocolos VoIP
G729	
PCMU - G711 8kHz ulaw	
PCMA - G711 8kHz alaw	
L16	

*Nota.* Adaptado de FreeSWITCH [Audio Codecs], por Brian West, 2020.

### 2.10.6. FreeSWITCH

FreeSWITCH es una pila de telecomunicaciones definida por software que permite la transformación digital de los conmutadores de telecomunicaciones propietarios a una implementación de software versátil que se ejecuta en cualquier hardware básico. Desde una Raspberry PI hasta un servidor multinúcleo, FreeSWITCH puede liberar el potencial de las telecomunicaciones de cualquier dispositivo. Combinado con nuestra plataforma alojada en la nube, SignalWire, FreeSWITCH puede interconectarse con el mundo exterior y escalar a cualquier tamaño.

**SignalWire.** Desarrolladores de la plataforma de comunicaciones de código abierto número uno del mundo. Su Objetivo es construir todo lo que sus clientes puedan imaginar, utilizando las capacidades de las telecomunicaciones definidas por software. Ya sea que se trate de un producto, servicio, aplicación o herramienta de comunicación empresarial, SignalWire permite que las empresas que se concentren en sus ideas en lugar de preocuparse por desarrollar, escalar, mantener, y por supuesto pagar de más por servicios y tecnología de comunicaciones complejas (SignalWire, 2021).

#### Funcionalidades y Características

- Servidor de clasificación y enrutamiento



- Transcodificación B2BUA
- Servidor de anuncios e IVR
- Servidor de conferencias
- Servidor de correo de voz
- SBC (controlador de borde de sesión)
- Controlador de borde de sesión de ocultación de topología básica
- Soporte de hardware DAHDI, Khomp, PIKA, Rhino, Sangoma y Xorcom
- Servidor de fax
- Soporte para colas (a través de mod\_fifo o mod\_callcenter)
- Aparcamiento (a través de mod\_fifo)
- Conferencia

**Códecs y protocolos VoIP en FreeSWITCH.** En la Tabla 12, muestra los códecs y protocolos VoIP, que son los soportados por el sistema de FreeSWITCH.

**Tabla 12**

*Lista de códecs y protocolos VoIP utilizados por FreeSWITCH*

Códecs	Protocolos VoIP
OPUS	SIP
iSAC	H.323
SILK Skype Audio codec	IAX2
iLBC@30i - iLBC	SCCP (Skinny)
Speex	Jingle / Google Talk
BroadVoice	Skype
Siren	GSM
CELT wideband	ALSA

Códecs	Protocolos VoIP
GSM@40i	PortAudio
G722	
G.726	
G729	
PCMU - G711 8kHz ulaw	
PCMA - G711 8kHz alaw	

*Nota.* Adaptado de FreeSWITCH [Configuration], por Mario G.,2020.

Fase 3: La tercera fase consiste en elaborar una matriz que nos permitirá a cualquier tipo de empresa interesada en implementar una IP PBX Open-Source, deducir cual de todas ellas escoger, teniendo en cuenta sus necesidades y la relación beneficio-costos.

### 2.10.7. Matriz Comparativa

Tabla 13

Matriz comparativa de las IP PBX Open-Source

Características y Funcionalidades	IP PBX Open-Source					
	Asterisk	Elastix	FreePBX	Issabel	SipXcom	FREESWITCH
Correo de Voz	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Videollamadas	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Respuesta de voz interactiva (IVR)	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Licencia	Open-Source (distribuido bajo la GNU versión 2)	Open-Source (distribuido bajo la GNU versión 2)	Open-Source	Open-Source (distribuido bajo la GNU versión 2)	AGLP v3 (Licencia pública general de Affero) compatible con copyleft	Licencia pública de Mozilla
Plataformas Soportadas	Linux (CentOS, RHEL, Fedora, Ubuntu y Debian)	Linux (CentOS, Ubuntu)	Linux 7.x	Linux	Linux (RHEL, CentOS)	Windows, MacOS X, Solaris Linux (Debian, Ubuntu, CentOS, Fedora and RHEL)
Protocolos	Google Talk, H.323, IAX, Jingle/XMP P, MGCP y SIP	SIP, IAX, H323, MGCP y SKINNY	SIP V2, H.323, Megaco y MGCP	SIP, IAX y SKINNY	SIP, H.323, IAX2, SCCP (Skinny), Jingle / Google Talk, Skype, GSM, ALSA y PortAudio	SIP, H.323, IAX2, SCCP (Skinny), Jingle / Google Talk, Skype, GSM, ALSA y PortAudio

Características y Funcionalidades	IP PBX Open-Source					
	Asterisk	Elastix	FreePBX	Issabel	SipXcom	FREESWITCH
<b>Códecs</b>				ADPCM		OPUS
				G.711	OPUS	iSAC
				G.719	iSAC	iLBC@30i -
				G.722	iLBC@30i -	iLBC
			G.722	G.722	iLBC	Speex
			G.711	G.722.1	Speex	BroadVoice
		ADPCM	G.723	G.722.1C	BroadVoic	Siren
		G.711	G.723	G.723.1	e	CELT
		G.722	G.723	G.726	Siren	wideband
		G.723.1	G.723	G.726	CELT	DVI
		G.726	G.723.1	G.726	wideband	GSM@40i
		G.729a	G.726	T.38	DVI	G722
		GSM	G.729	iLBC	GSM@40i	G.726
		iLBC	GSM	AMR-NB	GSM	G729
		Linear	iLBC	AMR-WB	ILBC	PCMU -
		LPC-10		GSM-EFR	LPC-10	G711 8kHz
		Speex		GSM-FR	SILK	ulaw
	SILK			Speex	PCMA - G711	
				Ogg Vorbis	8kHz alaw	
				Opus	L16	
<b>Mensajería</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Conferencia</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Interfaz Gráfica (GUI)</b>	No	Si	Si	Si	Si	No
<b>Idioma</b>	Inglés	Español	Múltiples idiomas	Múltiples idiomas	Inglés	Inglés
<b>Última versión / Versión funcional</b>	18.x (LTS)	4.x	15.x (64bit) & 13.x (32bit)	4.x	20.08	1.10.x
<b>Método Instalación</b>	Comandos Linux	ISO	ISO	ISO	ISO	Comandos Linux

*Nota.* Creación propia.

## Capítulo III

### 3.1. Creación del laboratorio virtual

Para la creación del laboratorio se utilizó el software de virtualización VirtualBox. Dentro del laboratorio se han usado dos máquinas virtuales, cada una con una PBX Open-Source diferente dentro de las pruebas realizadas. Las PBX Open-Source Issabel en su versión 4 y FreePBX en su versión 15, fueron seleccionadas con base en las características descritas en la Tabla 13. Esta selección fue de manera subjetiva tomando en cuenta su modo de instalación, interfaz gráfica, la alta disponibilidad de información en cuanto a documentación del software se refiere y los múltiples idiomas en los que se puede usar las PBX.

### 3.2. Escenarios propuestos

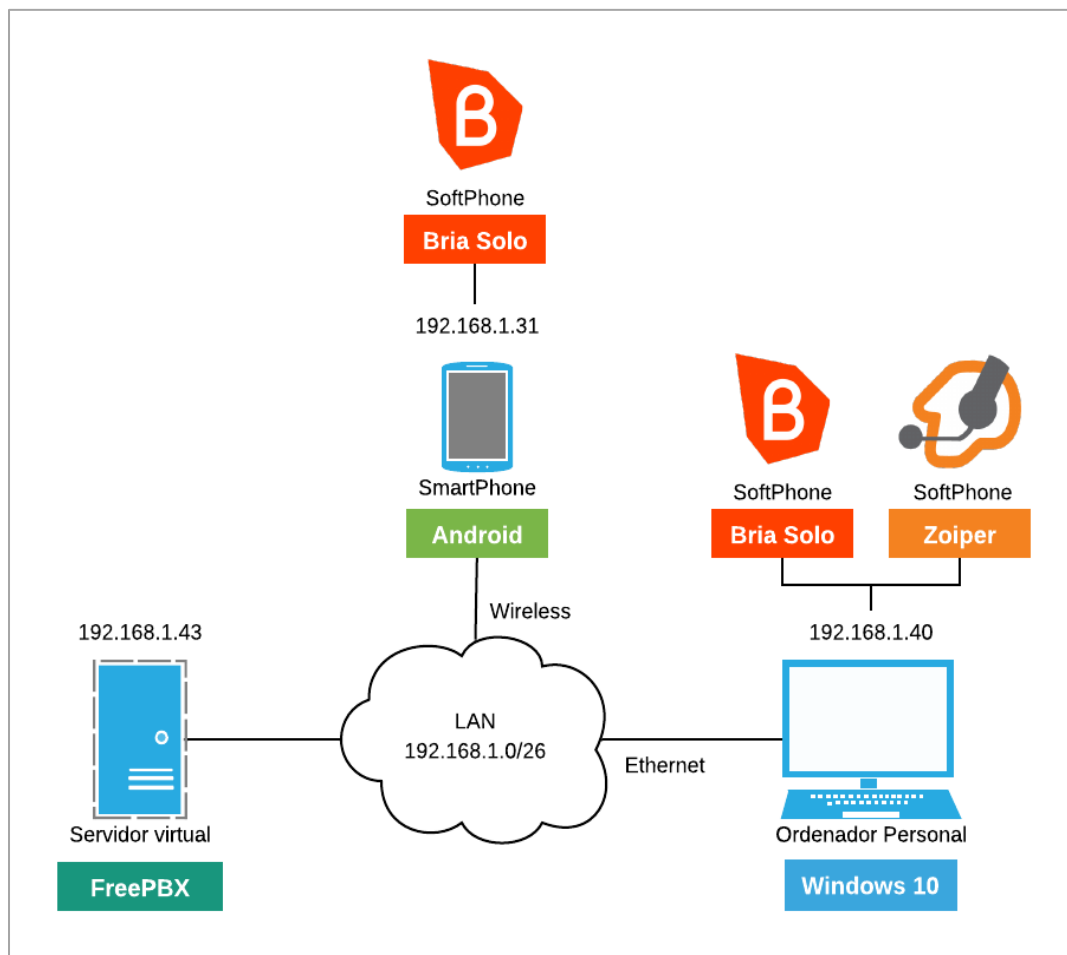
En este apartado se muestran los diagramas de red, que reflejan el entorno de red virtualizado, para probar cada una de las PBX Open-Source seleccionadas.

#### 3.2.1. Escenario 1 (*FreePBX*)

La Figura 3 muestra la red LAN a la que se conectan los SoftPhone que serán usados en los dispositivos terminales (Smartphone y Ordenador personal) y el servidor virtual de FreePBX.

**Figura 3**

*Escenario de pruebas destinado para FreePBX*

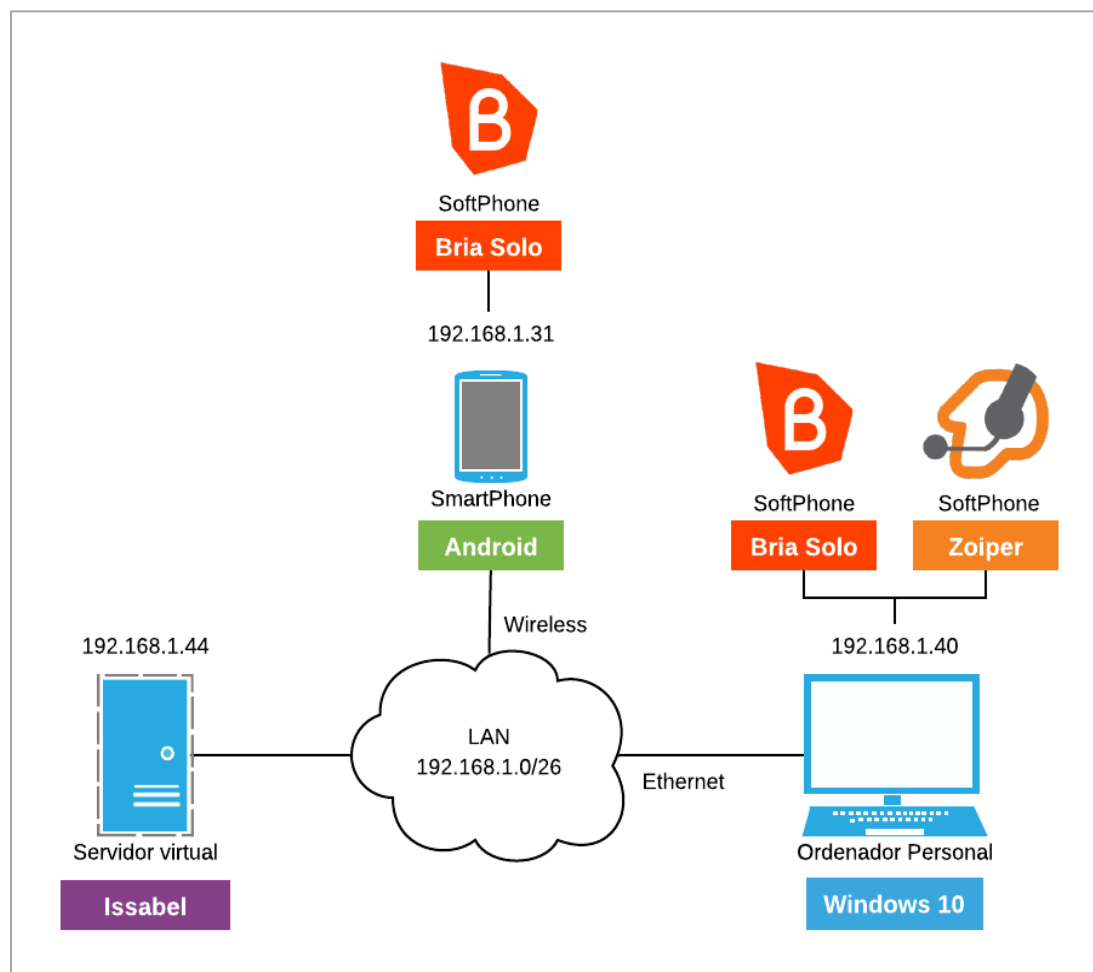


### **3.2.2. Escenario 2 (Issabel)**

La Figura 4 muestra la red LAN a la que se conectan los SoftPhone que serán usados en los dispositivos terminales (Smartphone y Ordenador personal) y el servidor virtual de Issabel.

**Figura 4**

*Escenario de pruebas destinado para Issabel*



### 3.2.3. Configuración de servicios

En la Tabla 14, se describen los servicios a configurar en Issabel y FreePBX, junto con los parámetros que se aplicaron a la configuración de cada uno de los servicios. De esta manera las condiciones son las mismas para ambas PBX.

Tabla 14

*Parámetros para la configuración de los servicios de Issabel y FreePBX*

Servicios	Parámetros	FreePBX	Issabel
Extensiones	Tipo de dispositivo	PJSIP	SIP
	Rango de Extensiones	1000 - 1005	1000 - 1005
IVR	Extensión	1000	1000
	Follow me List	-----	1000
	Grupo de extensiones	1500	-----
	Grabación	Grabación IVR.mp3	Grabación IVR.mp3
Videollamada	Códecs de vídeo	mpeg4, vp8, h264, h263p, h263 y h261	mpeg4, vp8, h264, h263p, h263 y h261
	Códecs de audio	ulaw, gsm, alaw, g723, g726 y g722	ulaw, gsm, alaw, g723, g726 y g722
	Tasa máxima de bits	384 kb/s	384 kb/s
Conferencia	Número de conferencia	2000	2000
	Nombre	Conferencia 1	Conferencia 1
	PIN administrador	3030	3030
	PIN usuario	2020	2020
Follow me	Extensión	1004	1004
(Sígueme)	Follow me List	1004, 1005	1004, 1005

*Nota.* Creación propia.

### 3.3. Implementación de FreePBX

#### 3.3.1. Instalación

A esta máquina virtual se le atribuyeron 2048 MB de memoria RAM y 30 GB de espacio de almacenamiento en el disco duro, recursos suficientes para poder realizar la implementación



y las pruebas correspondientes. El proceso de instalación de FreePBX, se encuentra adjunto en el Anexo 1 del presente proyecto de tesis.

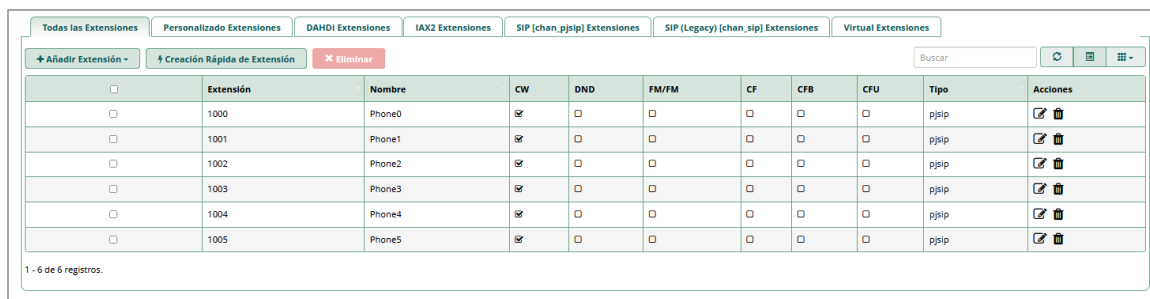
### 3.3.2. Configuración de los principales servicios













A continuación, se realiza la configuración de los servicios seleccionados sobre la base de lo establecido en la Tabla 14.

**Extensiones.** Para la configuración de extensiones en FreePBX, se seleccionó el tipo extensión **SIP [chan\_pjsip]**, luego en el apartado General, se agregó la **extensión del usuario**, el **nombre** a mostrar y una **contraseña**, además, se cambió la opción de señalización DMTF, en modo automático. Aplicando la configuración mencionada, se crearon 5 extensiones: 1001, 1002, 1003, 1004 y 1005, como podemos observar en la Figura 5.

**Figura 5**

*Extensiones de la 1000 – 1005 creadas en FreePBX*



<span>Todas las Extensiones</span> <span>Personalizado Extensiones</span> <span>DAHDI Extensiones</span> <span>IAX2 Extensiones</span> <span>SIP [chan_pjsip] Extensiones</span> <span>SIP (Legacy) [chan_sip] Extensiones</span> <span>Virtual Extensiones</span>										
<span>+ Añadir Extensión -</span> <span>+ Creación Rápida de Extensión</span> <span>✖ Eliminar</span> <span>Buscar</span>										
<input type="checkbox"/>	Extensión	Nombre	CW	DND	FM/FM	CF	CFB	CFU	Tipo	Acciones
<input type="checkbox"/>	1000	Phone0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1001	Phone1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1002	Phone2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1003	Phone3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1004	Phone4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1005	Phone5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 

1 - 6 de 6 registros.

**IVR.** Para la configuración del servicio de IVR en FreePBX, primero se cargó al sistema una grabación, la cual será la utilizada por el IVR a modo de contestadora.

La grabación cargada dice lo siguiente: “Bienvenido al sistema de IVR de FreePBX. Para hablar con Gerencia, marque 1. Para hablar con Ventas, marque 2. Para hablar con un Asesor Personal, marque 3”.

Luego de esto, se creó el IVR, agregándole un nombre, una descripción y añadiendo la grabación, en la opción de Anuncio. También se configuró la opción de Destino Agotado, para que termine la llamada en caso de no responder y se configuró los dígitos a marcar según las opciones mencionadas en la grabación, es decir cada dígito con su extensión correspondiente. En este caso la el dígito 1, redirige a la ext. 1001, el 2 a la ext. 1002 y el 3 a la ext. 1003. El IVR creado se puede observar en la Figura 6.

### Figura 6

*IVR creado en la lista de IVR's disponibles de FreePBX*

IVR	
<a href="#">+ Añadir IVR</a>	
Nombre de IVR	Descripción de IVR
IVR Operadora	Menú de extensiones para el usuario
1 - 1 de 1 registros.	

Por último, se creó un Grupo de extensiones, al que se le asignó, el número de grupo de extensiones, una descripción, la ext. 1000 y el IVR creado. De esta manera las llamadas que se realicen al número 1500 serán atendidas por el IVR. El IVR creado se puede observar en la Figura 7.

**Figura 7**

*Grupo de extensiones 1500 creado para el IVR Operadora en FreePBX*

Grupos de extensiones		
<a href="#">+ Añadir grupo de extensiones</a>		<input type="text" value="Buscar"/>
Grupo de extensiones	Description	Actions
1500	Opciones del IVR Operadora	
1 - 1 de 1 registros.		

*Nota.* Cuando se marque al número 1500, el cual se le asignó al grupo de extensiones creado, este tendría que dirigir la llamada a la extensión 1000 (Phone0), pero esta extensión estará inhabilitada por lo que al no responder este hará funcionar el IVR como respuesta alternativa. La extensión 1000 (Phone0), se creó solamente para activar el IVR.

**Videollamadas.** Para poder hacer uso de la opción de videollamadas En FreePBX, desde un Softphone, primero se habilitó el soporte para video en las **Configuraciones Asterisk SIP**, y se habilitó el soporte para los códecs de vídeo disponibles, como se puede observar en la Figura 8. Cabe recalcar que sólo se habilitaron los códecs nombrados en la Tabla 14.

**Figura 8**

*Habilitando los códecs para el soporte de video en FreePBX*

— Códecs de Video

Soporte Video

Códecs de Video



- h264
- mpeg4
- vp8
- h263p
- h261
- h263
- vp9
- h265

Max velocidad de bits 384

**Conferencias.** Para la configuración del servicio de conferencias en FreePBX, se le asignó el número 2000, como nombre “Conferencia 1”, como PIN de usuario el 2020 y como PIN de administrador el 3030. Además, se habilitó la música en espera, para los usuarios que se una a la conferencia cuando el administrador aún no esté presente. La conferencia creada se puede observar en la Figura 9.

**Figura 9**

*Conferencia creada en FreePBX*

Conferencias		
Conferencia	Description	Actions
2000	Conferencia1	 













1 - 1 de 1 registros.

**Follow Me (Sígueme).** Para configurar este servicio en FreePBX, se hizo uso de las extensiones 1004 (Phone4) como la extensión fija y la 1005 (Phone5) como extensión de seguimiento. En la configuración de la extensión 1004 (Phone4), en el apartado de **Follow Me**, se habilitó esta funcionalidad, y se asignó a la extensión 1005 (Phone5) como extensión de seguimiento, la cual será el respaldo de la extensión (1004), en caso de que ésta no conteste.

La Figura 10, muestra que la extensión 1004 (Phone4), tiene marcada un visto en la columna FM/FM, lo cual quiere decir tiene configurada este servicio.

**Figura 10**

*Extensión 1004 configurada con FM/FM en FreePBX*

<input type="checkbox"/>	Extensión	Nombre	CW	DND	FM/FM	CF	CFB	CFU	Tipo	Acciones
<input type="checkbox"/>	1000	Phone0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1001	Phone1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1002	Phone2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1003	Phone3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1004	Phone4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 
<input type="checkbox"/>	1005	Phone5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pjsip	 

### 3.4. Implementación de Issabel

#### 3.4.1. Instalación

A esta máquina virtual se le atribuyeron 2048 MB de memoria RAM y 30 GB de espacio de almacenamiento en el disco duro, recursos suficientes para poder realizar la implementación y las pruebas correspondientes. El proceso de instalación de Issabel, se encuentra adjunto en el Anexo 2 de este proyecto de tesis.

#### 3.4.2. Configuración de los servicios principales

**Extensiones.** Para configurar este servicio en Issabel, se seleccionó un **Dispositivo SIP genérico**, se colocó un número para el usuario, un nombre para el dispositivo, una contraseña y se cambió la opción de *dtmfmode* en automático. Esta configuración fue suficiente para garantizar el funcionamiento de las extensiones, por lo que se crearon 6 extensiones de la 1000 a la 1005, cómo se puede observar en la Figura 11.

#### Figura 11

*Extensiones de la 1000 – 1005 creadas en Issabel*

Añadir una extensión

Por favor, seleccione a continuación su dispositivo y haga clic después en Enviar

- Dispositivo

Dispositivo:

Añadir Extensión

- Phone0 <1000>
- Phone1 <1001>
- Phone2 <1002>
- Phone3 <1003>
- Phone4 <1004>
- Phone5 <1005>

**IVR.** Para configurar este servicio en Issabel, se siguió un proceso similar al realizado con FreePBX. Primero se cargó una grabación al sistema la cual será usada como contestadora.

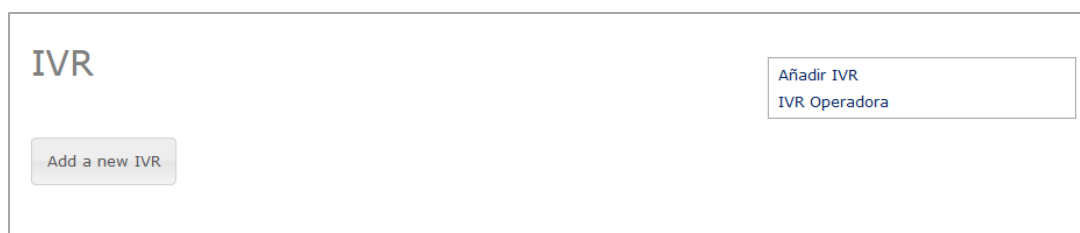
Luego se añadió un nuevo IVR al que se asignó un nombre, la grabación cargada, en la opción de **Anuncio** y se configuró las opciones de **Destino Inválido** y **Tiempo de respuesta agotado** en **Terminar llamada**.

También se configuró las opciones de marcado según la grabación, la cual es similar a la usada en FreePBX, con la diferencia que esta dice lo siguiente: “Bienvenido al sistema de IVR de Issabel. Para hablar con Gerencia, marque 1. Para hablar con Ventas, marque 2. Para hablar con un Asesor Personal, marque 3”.

Posteriormente se anexó a cada dígito de marcado su extensión correspondiente. En este caso el dígito 1 redirige a la ext. 1001, el 2 a la ext. 1002 y el 3 a la ext. 1003. La Figura 12 muestra el IVR creado.

### Figura 12

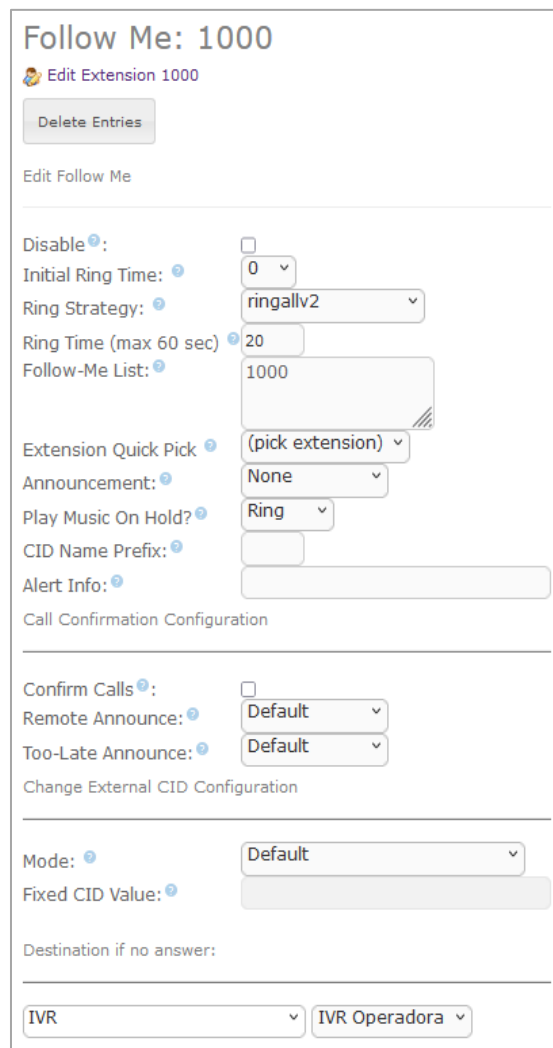
*IVR creado correctamente en Issabel*



Por último y a diferencia de FreePBX, se asignó la extensión 1000 (Phone0) para que sea la opción de marcado al IVR, haciendo uso del servicio Follow Me. De tal manera que al marcar a la extensión 1000 se active el IVR ya que dicha extensión no dará respuesta, lo cual pasará inevitablemente ya que esta se asignó únicamente para hacer funcionar el servicio de IVR. La Figura 13 muestra la configuración de la ext. 1000.

**Figura 13**

*Configuración de extensión 1000 como número de marcado para el IVR en Issabel*



**Follow Me: 1000**  
Edit Extension 1000  
Delete Entries

Edit Follow Me

Disable:

Initial Ring Time: 0

Ring Strategy: ringallv2

Ring Time (max 60 sec): 20

Follow-Me List: 1000

Extension Quick Pick: (pick extension)

Announcement: None

Play Music On Hold?: Ring

CID Name Prefix:

Alert Info:

Call Confirmation Configuration

Confirm Calls:

Remote Announce: Default

Too-Late Announce: Default

Change External CID Configuration

Mode: Default

Fixed CID Value:

Destination if no answer:

IVR IVR Operadora

**Videollamadas.** Para poder hacer uso de las videollamadas en Issabel y usando cualquier SoftPhone, se habilitó el soporte para video en las **Configuraciones SIP**, juntamente con los códecs definidos en la Tabla 12, esto se puede observar en la Figura 14.

**Figura 14**

*Soporte de video Habilitando en Issabel*



**Conferencias.** Para configurar este servicio en Issabel, se accedió al apartado del mismo, en el que se añadió un número, un nombre, un PIN administrador y PIN de usuario. Además, se habilitó la música en espera. En la figura 15 se puede observar la conferencia creada.

**Figura 15**

*Conferencia creada en Issabel*



**Follow Me (Sígueme).** Para configurar este servicio en Issabel, se ingresó a las opciones de la extensión 1004 y se modificó la función de Follow Me. En la lista de seguimiento de la extensión 1004, se añadió a la extensión 1005, la cual su el respaldo en caso de no dar respuesta. Esta configuración se puede observar en la Figura 16.



Figura 16

*Follow Me configurado en Issabel*

### Follow Me: 1004

[Edit Extension 1004](#)

[Delete Entries](#)

---

Edit Follow Me

---

Disable:

Initial Ring Time:

Ring Strategy:

Ring Time (max 60 sec):

Follow-Me List:

Extension Quick Pick:

Announcement:

Play Music On Hold?:

CID Name Prefix:

Alert Info:

---

Call Confirmation Configuration

Confirm Calls:

Remote Announce:

Too-Late Announce:

---

Change External CID Configuration

Mode:

Fixed CID Value:

---

Destination if no answer:

[Submit Changes](#)

## Capítulo IV

### 4.1. Plan de pruebas y resultados

Una vez implementadas las PBX Open-Source Issabel y FreePBX y configurados sus servicios, se realizó un análisis comparativo con respecto a pruebas de funcionalidad de los servicios, experiencia del usuario a través del método heurístico de Nielsen y la calidad de servicio. El análisis de esta última se hizo de forma objetiva y subjetiva.

1) De forma objetiva, con uso del software libre Wireshark a través del análisis de métricas de calidad de servicio como jitter, latencia, pérdida de paquetes y ancho de banda.

2)Y, de forma subjetiva a través del análisis del MOS.

#### 4.1.1. Prueba de funcionalidad de los servicios

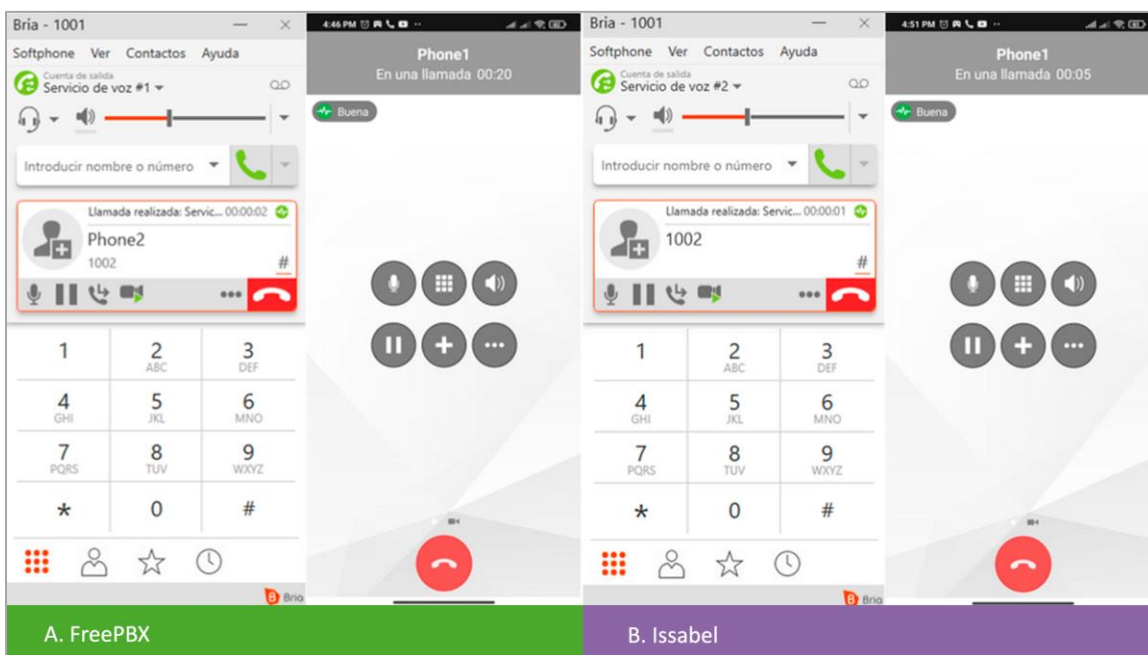
**Prueba de Extensiones.** Para probar el funcionamiento del servicio de extensiones en ambos PBX, se realizó una llamada entre dos extensiones, esto se puede observar en la Figura 17.

**En la prueba realizada en FreePBX,** se configuró el SoftPhone de la terminal de Windows 10 con la extensión 1001(Phone1) con el dominio SIP 192.168.1.43. En la terminal Android se configuró la extensión 1002 (Phone2) con el mismo dominio. De esta manera se realizó la llamada de prueba entre ambas extensiones, la cual resultó exitosa y demostró el correcto funcionamiento de este servicio en FreePBX.

Por otra parte, **en la prueba realizada en Issabel,** se configuró el SoftPhone de la terminal de Windows 10 con la extensión 1001(Phone1) con el dominio SIP 192.168.1.44 y en la terminal Android de la extensión 1002 (Phone2) con el mismo dominio. De igual manera se realizó la llamada de prueba entre ambas extensiones, la cual también resultó exitosa y demostró el correcto funcionamiento de este servicio en Issabel.

**Figura 17**

*Llamada exitosa de la extensión 1001 a la 1002 en Issabel y FreePBX*



**Prueba del IVR.** En esta prueba se comprobó el correcto funcionamiento del servicio de IVR configurado en ambas PBX. Lo realizado para cada prueba se detalla a continuación y sus resultados se muestran en Figura 18.

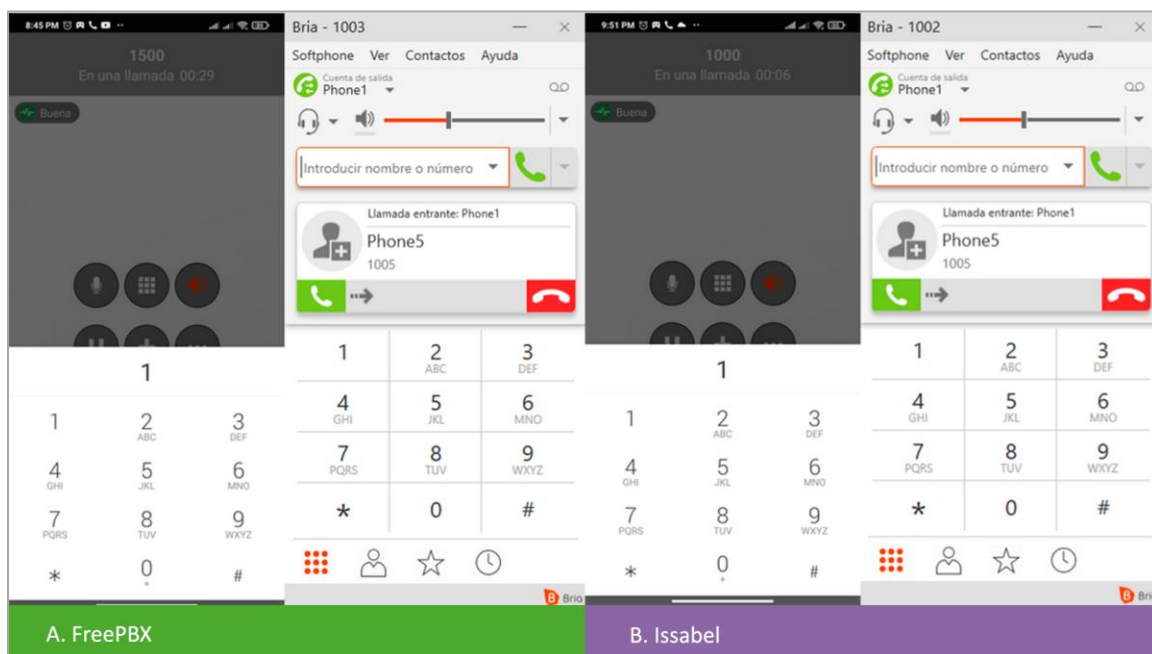
**En la prueba realizada en FreePBX,** se asignó al SoftPhone Bria Solo de Windows 10 las extensiones 1001 (Phone1), 1002 (Phone2) y 1003 (Phone3) con el dominio SIP 192.168.1.43. Mientras que en el SoftPhone Bria Solo de Android se le asignó solamente la extensión 1005 (Phone5) con el mismo dominio. Esta última extensión (1005) hizo la llamada al número de marcado 1500, definido en las configuraciones del IVR de FreePBX. La llamada fue atendida por el IVR y en respuesta a esta se marcó el dígito 1, redirigiendo la llamada a la extensión correspondiente a dicha opción, es decir la extensión 1001.

Por otro lado, **en la prueba que se realizó en Issabel,** se asignó al SoftPhone Bria Solo de Windows 10, las extensiones 1001 (Phone1), 1002 (Phone2) y 1003 (Phone3) con el dominio SIP

192.168.1.44. Mientras que en el SoftPhone Bria Solo de Android se le asignó solamente la extensión 1005 (Phone5) con el mismo dominio. La extensión (1005) hizo la llamada a la extensión 1000, definida en las configuraciones del IVR de Issabel en el capítulo 3. Dicha llamada fue atendida por la grabación cargada al IVR y en respuesta a ésta se marcó la opción 1 desde la extensión 1005, redirigiendo la llamada a la extensión correspondiente a dicho dígito, es decir la extensión 1001.

**Figura 18**

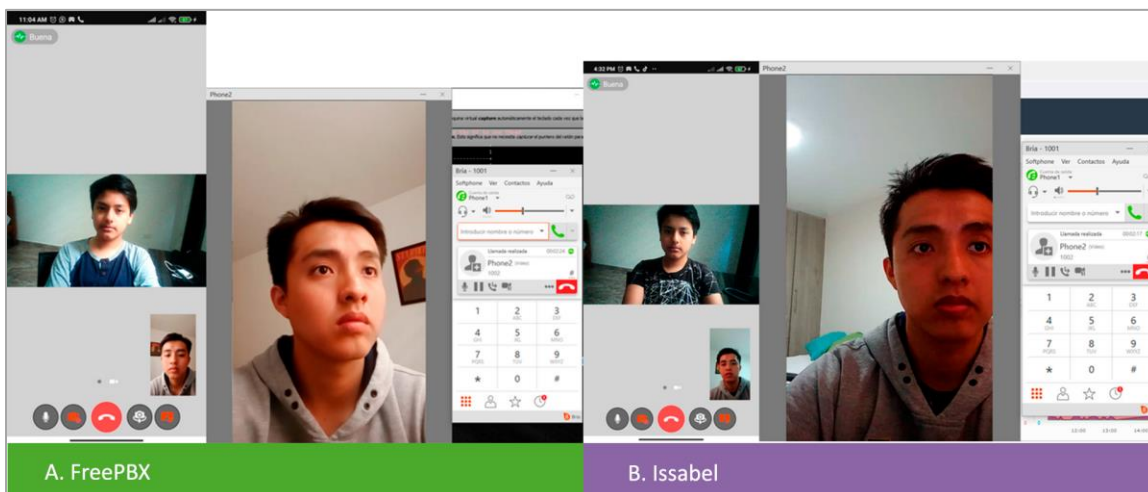
*Prueba del servicio de IVR en Issabel y FreePBX*



**Prueba de Videollamadas.** Se comprobó la el funcionamiento del servicio de videollamada en cada una de las PBX realizando una llamada entre dos extensiones. En la Figura 19, se pueden observar los resultados de la prueba realizada.

**Figura 19**

*Prueba del servicio de Videollamada en Issabel y FreePBX*



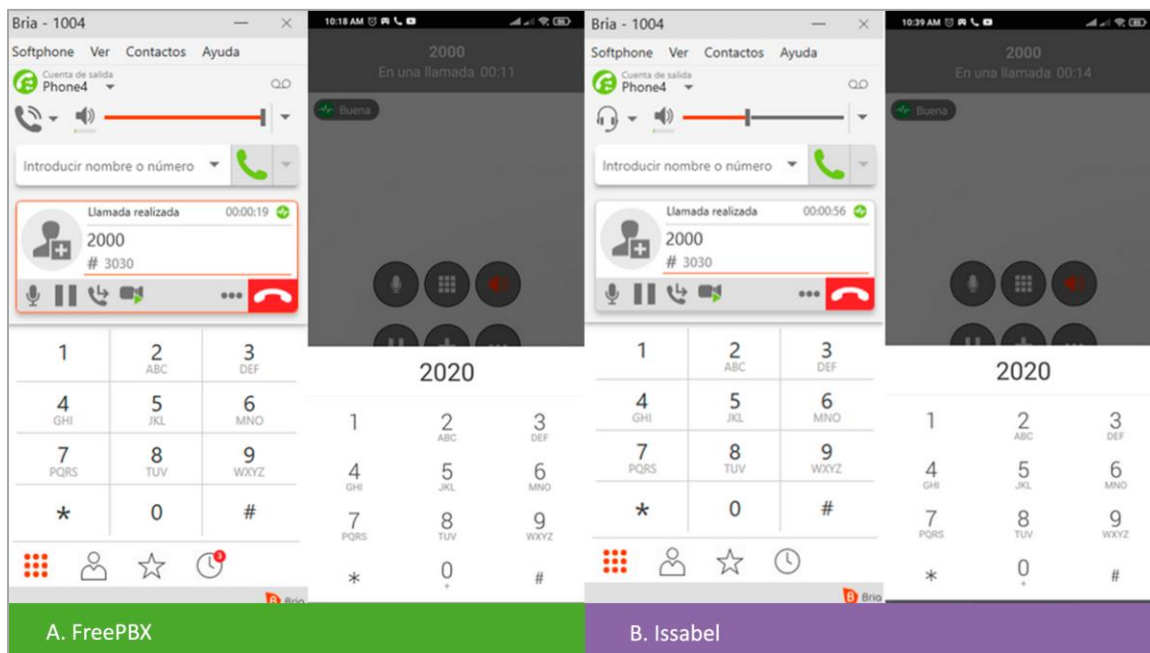
**Prueba de Conferencias.** Se comprobó el funcionamiento de este servicio a través de una prueba realizada por cada PBX, estas se detallan a continuación y sus resultados se pueden observar en la Figura 20.

**En la prueba realizada en FreePBX,** se hizo uso del configurado en Windows con la extensión 1004 (Phone4), la misma que accediendo como administrador a la conferencia con el PIN 3030. También se utilizó el SoftPhone configurado en Android con la extensión 1005 (Phone5), la cual accedió como un usuario normal con el PIN 2020.

De la misma manera, **se comprobó el funcionamiento de las conferencias en Issabel,** haciendo uso del SoftPhone configurado en Windows con la extensión 1004 (Phone4), el mismo que accediendo como administrador a la conferencia con el PIN 3030. Por otra parte, de igual manera se utilizó el SoftPhone configurado en Android con la extensión 1005 (Phone5), el cual accedió como un usuario normal con el PIN 2020.

**Figura 20**

*Prueba del servicio de Conferencia en Issabel y FreePBX*



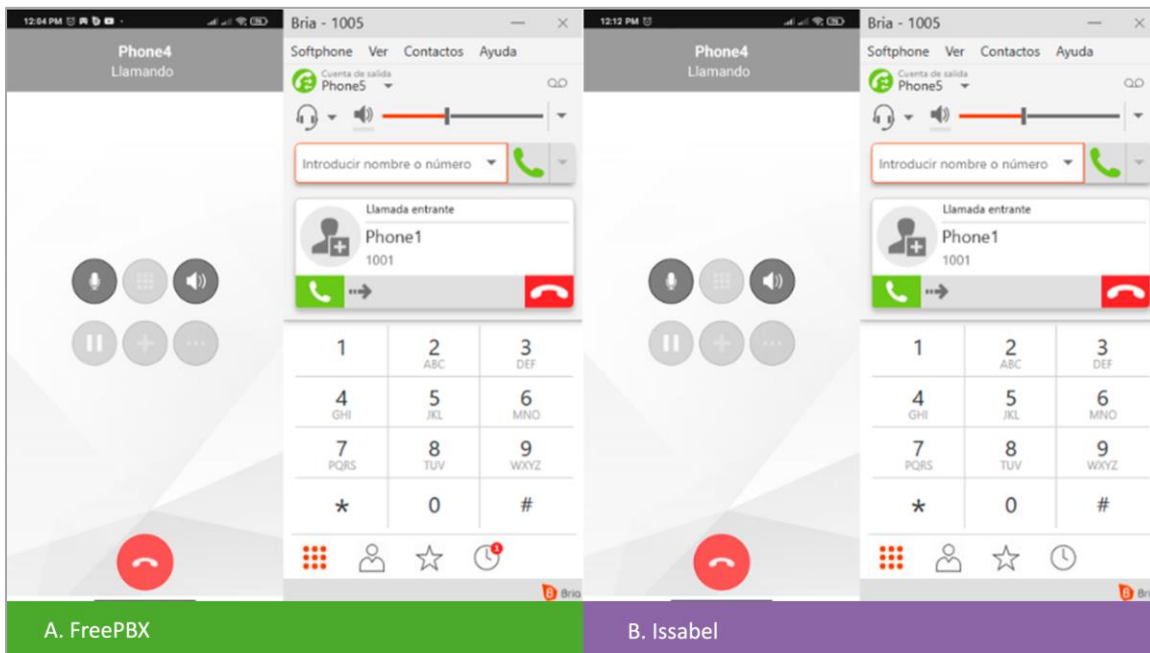
**Prueba de Follow Me (Sígueme).** Se comprobó el funcionamiento del servicio de Follow Me en ambas PBX, las pruebas realizadas se detallan a continuación y sus resultados se observan en la Figura 21.

**En la prueba realizada en FreePBX,** se configuró la extensión 1001 en la terminal Android y la extensión 1005 en la terminal Windows haciendo uso de los SoftPhones. La llamada se realizó entre la extensión 1001 y 1004 (extensión deshabilitada), por lo que el servicio de Follow Me, redirigió la llamada a su extensión de respaldo, la extensión 1005.

**De la misma manera, en la prueba realizada en Issabel,** se configuró la extensión 1001 en la terminal Android y la extensión 1005 en la terminal Windows haciendo uso de los SoftPhones. La llamada se realizó entre la extensión 1001 y 1004 (extensión deshabilitada), por lo que el servicio de Follow Me, redirigió la llamada a su extensión de respaldo, la extensión 1005.

**Figura 21**

*Prueba del servicio Follow Me en la en Issabel y FreePBX*



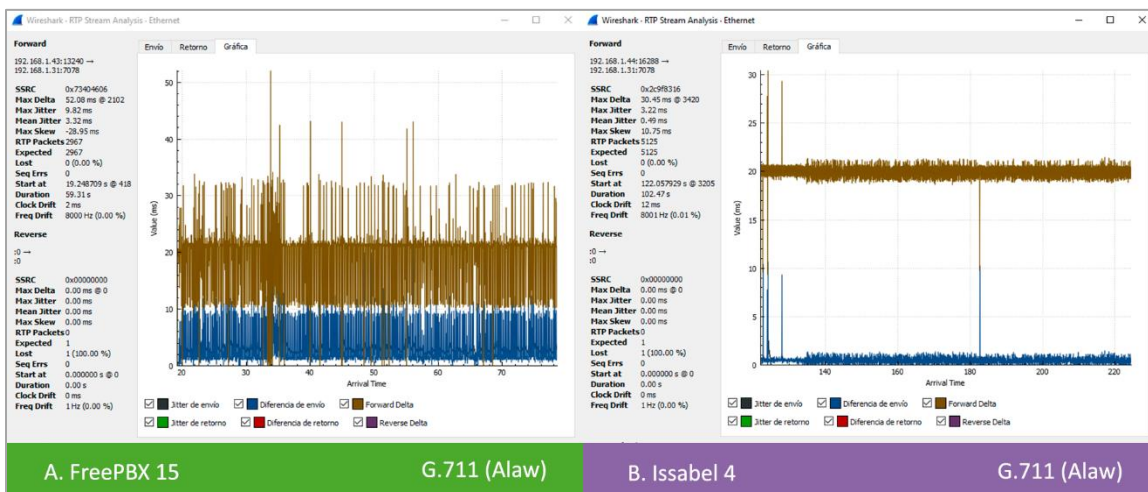
#### **4.1.2. Análisis QoS**

Para analizar las métricas de calidad de servicio, se realizó una llamada entre dos terminales. Y, se analizaron los parámetros de QoS (Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes) con el software de análisis de tráfico Wireshark. Cabe recalcar que el análisis de los parámetros QoS, fue realizado con base en los códec VoIP G.711 (Alaw), G.722, G.729, GSM y SPEEX.

En la Figura 22, se muestran los parámetros QoS capturados a través del flujo RTP durante una llamada. Esta llamada se realizó usando el códec G.711 (Alaw), tanto en A (FreePBX 15) como en B (Issabel 4).

Figura 22

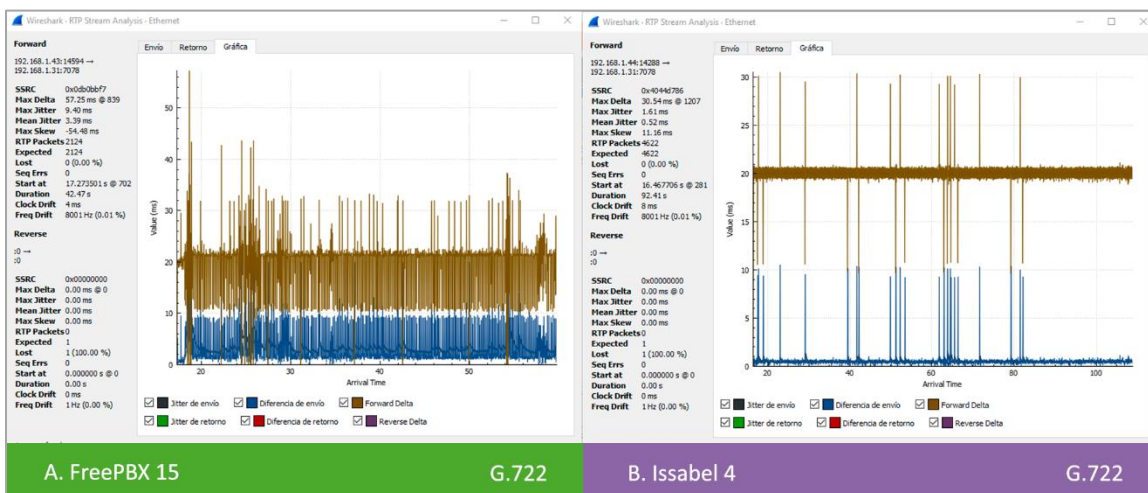
Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec G.711 (Alaw)



En la Figura 23, se muestran los parámetros QoS capturados a través del flujo RTP durante una llamada entre dos terminales en las dos PBX. Esta llamada se realizó usando el códec G.722, tanto en A (FreePBX 15) como en B (Issabel 4).

Figura 23

Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec G.722

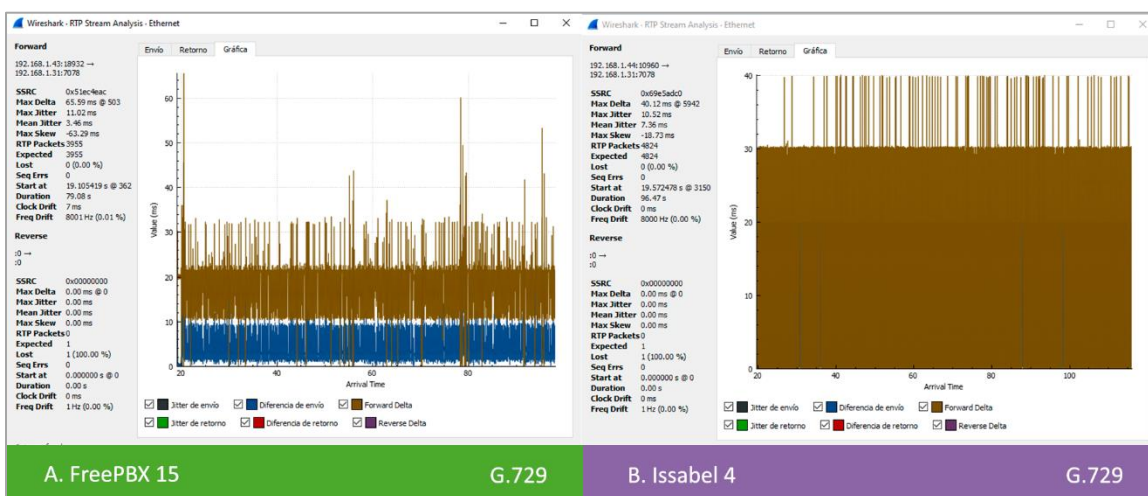




En la Figura 24, se muestran los parámetros QoS capturados a través del flujo RTP durante una llamada entre dos terminales en las dos PBX. Esta llamada se realizó usando el códec G.729, tanto en A (FreePBX 15) como en B (Issabel 4).

**Figura 24**

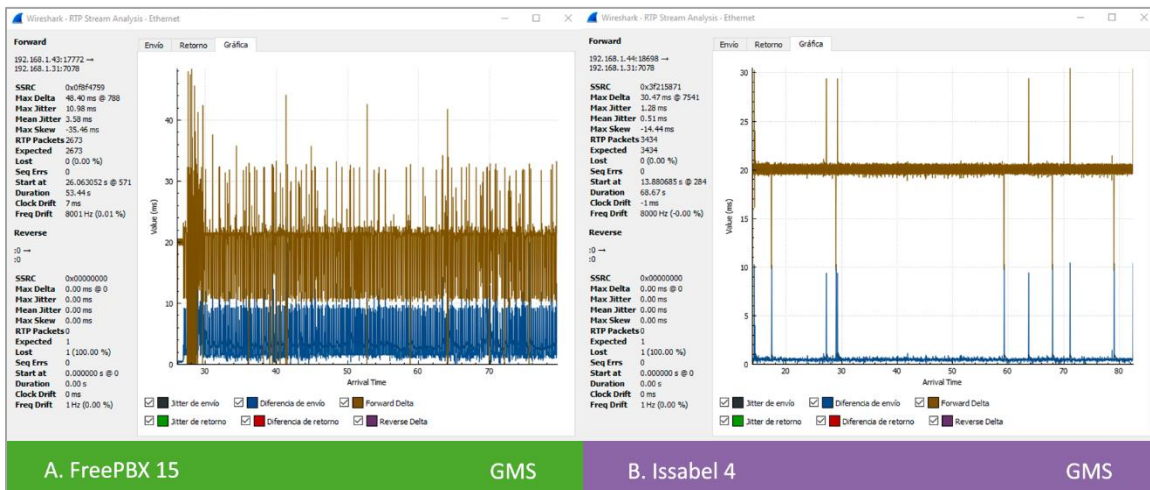
*Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec G.729*



En la Figura 25, se muestran los parámetros QoS capturados a través del flujo RTP durante una llamada entre dos terminales en las dos PBX. Esta llamada se realizó usando el códec GSM, tanto en A (FreePBX 15) como en B (Issabel 4).

Figura 25

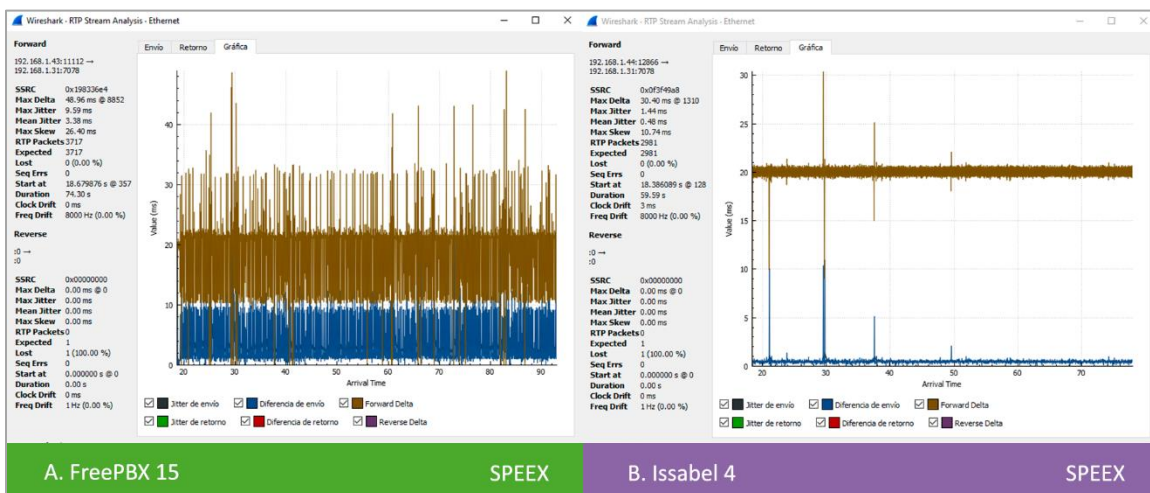
Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec GMS



En la Figura 26, se muestran los parámetros QoS capturados a través del flujo RTP durante una llamada entre dos terminales en las dos PBX. Cabe recalcar que esta llamada se realizó usando el códec SPEEX, tanto en A (FreePBX 15) como en B (Issabel 4).

Figura 26

Análisis de flujo RTP de la llamada entre terminales usando el códec SPEEX



En la Tabla 15, podemos observar los resultados obtenidos de las pruebas de calidad de VoIP de las métricas de QoS y la calificación MOS con respecto a FreePBX. Como se observa en la Tabla 15, la calidad de las llamadas en FreePBX 15, basadas en la calificación MOS, es en su mayoría “Excelente”, esto con respecto al uso de la mayoría de códecs, a excepción del códec G.729, debido a que a que su jitter y latencia solo alcanzan una calidad de VoIP “Buena”.

**Tabla 15**

*Análisis de QoS en la llamada entre las terminales en FreePBX*

<b>Códec</b>	<b>Métrica QoS</b>	<b>Valor</b>	<b>Calidad de VoIP</b>	<b>Calificación MOS</b>
<b>G.711 (Alaw)</b>	<b>Jitter (ms)</b>	9,82	Excelente	
	<b>Latencia (ms)</b>	52,08	Bueno	Excelente
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>G.722</b>	<b>Jitter (ms)</b>	9,40	Excelente	
	<b>Latencia (ms)</b>	57,25	Bueno	Excelente
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>G.729</b>	<b>Jitter (ms)</b>	11,02	Bueno	
	<b>Latencia (ms)</b>	65,59	Bueno	Bueno
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>GSM</b>	<b>Jitter (ms)</b>	10,98	Bueno	
	<b>Latencia (ms)</b>	48,40	Excelente	Excelente
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>Speex</b>	<b>Jitter (ms)</b>	9,59	Excelente	
	<b>Latencia (ms)</b>	48,96	Excelente	Excelente
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	

*Nota.* Creación propia.

En la Tabla 16, podemos observar los resultados obtenidos de las pruebas de calidad de VoIP de las métricas de QoS y la calificación MOS con respecto a Issabel. La calidad de las llamadas en Issabel 4, basadas en la calificación MOS, es “Excelente”; esto se debe a que los valores de las métricas QoS en todos los códecs evaluados, tienen una excelente calidad de VoIP.

**Tabla 16**

*Análisis de QoS en la llamada entre las dos terminales en Issabel*

<b>Códec</b>	<b>Métrica QoS</b>	<b>Valor</b>	<b>Calidad de VoIP</b>	<b>Calificación MOS</b>
<b>G.711</b>	<b>Jitter (ms)</b>	3,22	Excelente	Excelente
	<b>Latencia (ms)</b>	30,45	Excelente	
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>G.722</b>	<b>Jitter (ms)</b>	1,61	Excelente	Excelente
	<b>Latencia (ms)</b>	30,54	Excelente	
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>G.729</b>	<b>Jitter (ms)</b>	7,36	Excelente	Excelente
	<b>Latencia (ms)</b>	40,12	Excelente	
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>GSM</b>	<b>Jitter (ms)</b>	1,28	Excelente	Excelente
	<b>Latencia (ms)</b>	30,47	Excelente	
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	
<b>Speex</b>	<b>Jitter (ms)</b>	1,44	Excelente	Excelente
	<b>Latencia (ms)</b>	30,40	Excelente	
	<b>Pérdida de paquetes (%)</b>	0	Excelente	

*Nota.* Creación propia.

**Comparación de los resultados del análisis QoS.** Los resultados del análisis de QoS entre las PBX Issabel y FreePBX, los podemos observar en la Tabla 17, ambas PBX tienen en general una excelente calidad del servicio. Sin embargo, se puede determinar que Issabel supera a FreePBX en el manejo del códec G.729.

**Tabla 17**

*Comparación de la calificación MOS obtenida del análisis QoS entre Issabel y FreePBX*

Códec	Calificación MOS	
	FreePBX 15	Issabel 4
<b>G.711</b>	Excelente	Excelente
<b>G.722</b>	Excelente	Excelente
<b>G.729</b>	Bueno	Excelente
<b>GSM</b>	Excelente	Excelente
<b>Speex</b>	Excelente	Excelente

*Nota.* Creación propia.

#### **4.1.3. Experiencia de Usuario**

Para evaluar la experiencia de usuario de las PBX FreePBX e Issabel, se aplicó los principios de Heurística de Nielsen, con los cuales se estipula si el sistema es usable o no (GroupGrupo Nielsen Norman, 2020). Además, en la Tabla 18, se establecieron los valores de medición para evaluar los principios mencionados.

**Tabla 18***Mediciones que dan valor a los heurísticos*

Valor	Medición	Observaciones
1	Muy en desacuerdo	Lo evaluado no realiza la actividad o no muestra el contenido que ofrece.
2	En desacuerdo	Lo evaluado desarrolla la actividad o muestra un contenido, pero en general, lo recibido por el evaluador no aporta a la experiencia general del sistema.
3	Neutro	Lo evaluado desarrolla la actividad o muestra un contenido relativamente útil, pero podría ser mejor.
4	De acuerdo	Lo evaluado desarrolla la actividad o muestra un contenido útil.
5	Muy de acuerdo	Lo evaluado desarrolla la actividad o muestra un contenido útil que cumple o excede la expectativa del usuario.

**Heurística Nro. 1 (Visibilidad del estado del sistema).** El diseño siempre debe mantener informados a los usuarios sobre lo que está sucediendo, a través de la retroalimentación adecuada dentro de un período de tiempo razonable. Con base en lo dicho en esta heurística se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 19.

**Tabla 19***Heurística Nro. 1-Visibilidad del estado del sistema*

Interfaz (GUI)	Valor	Observaciones
<b>FreePBX 15</b>	4	La interfaz tiene un buen etiquetado con respecto a sus opciones, pero no le dice al usuario como llegó a ellas (Figura 27).
<b>Issabel 4</b>	5	Su interfaz le hace saber al usuario dónde se encuentra exactamente y cómo llegó a ese lugar (Figura 28).

Figura 27

*Interfaz de extensiones en FreePBX*

<input type="checkbox"/>	Extensión	Nombre	CW	DND	FM/FI
<input type="checkbox"/>	1000	Phone0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	1001	Phone1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	1002	Phone2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 28

*Interfaz de extensiones en Issabel*

Issabel

Búsqueda de módulos

Configuración PBX

Panel del Operador

Correo de Voz

Grabaciones

Configuración por Lotes

Conferencia

Herramientas

Configurador de Endpoint

PBX / Configuración PBX

Básico

Clases de Servicio

Códigos de funcionalidad

Extensiones

Rutas Salientes

Troncales

Control de Llamadas entrantes

Anuncios

Colas

Condiciones Horarias

Control de Flujo de Llamadas

DIDs Canal DAHDI

Establecer CallerID

Fuente de Búsqueda CallerID

Grabación

Grupos Horarios

Grupos de Timbrado

IVR

Lista negra

Prioridades de Cola

Rutas Dinámicas

Rutas Entrantes

Sígueme

### Añadir una extensión

Por favor, seleccione a continuación su dispositivo y haga clic después en Enviar - Dispositivo

Dispositivo:

**Heurística Nro. 2 (Coincidencia entre el sistema y el mundo real).** El diseño de la interfaz debe hablar el idioma de los usuarios. Además, tiene que utilizar palabras, frases y conceptos que le sean familiares al usuario, en lugar de una jerga interna. Seguir las convenciones del mundo real, permitiendo que la información aparezca en un orden lógico y natural. Con base en lo dicho en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 20.

Tabla 20

Heurística Nro. 2- Coincidencia entre el sistema y el mundo real

Interfaz (GUI)	Valor	Observaciones
FreePBX 15	4	El dashboard cuenta con módulos muy útiles para la monitorización del sistema, pero su apariencia no se asemeja tanto a un sistema de control y monitoreo (Figura 29).
Issabel 4	5	Su dashboard es muy similar a un sistema de control y monitoreo por lo que es fácil identificar dicha interfaz (Figura 30).

Figura 29

Dashboard de FreePBX

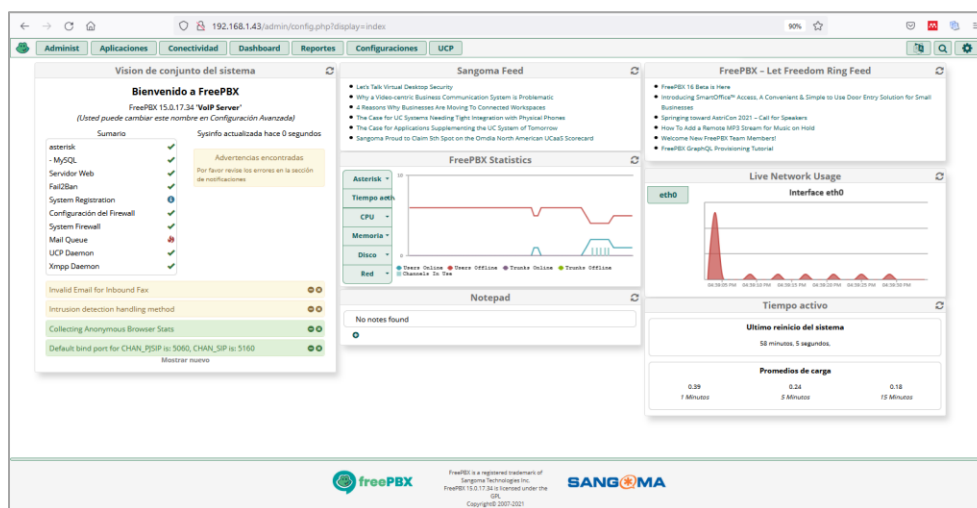
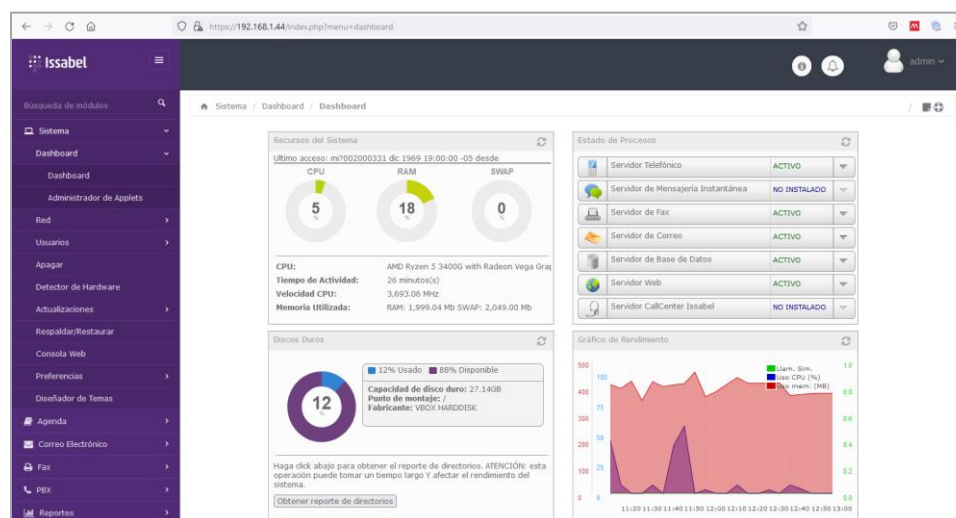




Figura 30

Dashboard de Issabel

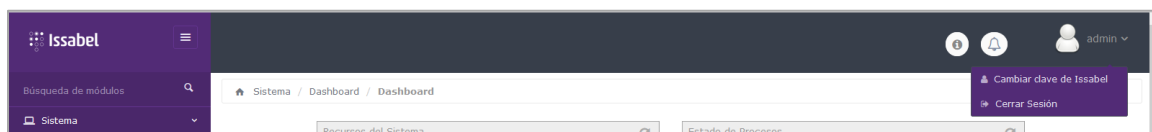


**Heurística Nro. 3 (Control y libertad del usuario).** Los usuarios suelen realizar acciones por error. Por ese motivo, es necesario una "salida de emergencia" claramente marcada para abandonar las acciones no deseadas sin tener que pasar por un largo proceso. En base a lo dicho en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 21.

Tabla 21

Heurística Nro. 3- Control y libertad del usuario

Interfaz (GUI)	Valor	Observaciones
FreePBX 15	5	Las interfaces muestran su menú principal siempre superpuesta sobre todas las opciones y además contienen opciones de salida del sistema (Figuras 31 y 32).
Issabel 4	5	

**Figura 31***Menú principal de FreePBX***Figura 32***Menú principal de Issabel*

**Heurística Nro. 4 (Coherencia y estándares).** Los usuarios no deberían tener que preguntarse si diferentes palabras, situaciones o acciones significan lo mismo. Por lo tanto, se recomienda que se siga las reglas de la plataforma y la industria. En base a lo dicho en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 22.

**Tabla 22***Heurística Nro. 4- Coherencia y estándares*

Interfaz (GUI)	Valor	Observaciones
<b>FreePBX 15</b>	5	Sus términos y opciones son los conocidos dentro del mercado por lo que resulta fácil su interpretación. Tal y como se puede observar en la Figura 57.
<b>Issabel 4</b>	5	Sus términos y opciones son los conocidos dentro del mercado por lo que resulta fácil su interpretación. Además, la ubicación de sus opciones dentro de la interfaz es similar a las de otros sistemas. Tal y como se puede observar en la Figura 58.

**Heurística Nro. 5 (Prevención de errores).** Los buenos mensajes de error son importantes, pero los mejores diseños evitan cuidadosamente que ocurran problemas en primer lugar. Por esta razón, la heurística Nro. 5 recomienda que se eliminen o validen las condiciones propensas a errores y presentar a los usuarios una opción de confirmación antes de realizar cualquier acción. En base a lo dicho en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 23.

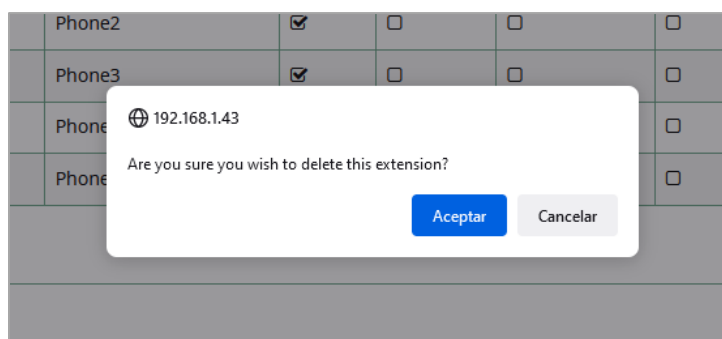
**Tabla 23**

*Heurística Nro. 5- Prevención de errores*

Interfaz (GUI)	Valor	Observaciones
FreePBX 15	5	El sistema muestra un mensaje que te permite deshacer tu decisión antes de que sea tarde o continuar con ella (Figura 33).
Issabel 4	2	El sistema no permite salir de la acción por lo que la ejecuta de inmediato sin opción a deshacerla (Figura 34).

**Figura 33**

*Eliminando la extensión 1000 para comprobar la heurística 5 en FreePBX*



**Figura 34**

*Eliminando la extensión 1000 para comprobar la heurística 3 en Issabel*

**Heurística Nro. 6 (Reconocimiento en lugar de recordar).** Se recomienda minimizar la carga de memoria los usuarios, haciendo visibles los elementos, acciones y opciones. Los usuarios no deberían tener que recordar información de una parte de la interfaz a otra. La información requerida para utilizar el diseño (por ejemplo, etiquetas de campo o elementos de menú) debe ser visible o fácilmente recuperable cuando sea necesario. En base a lo mencionado en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 24.

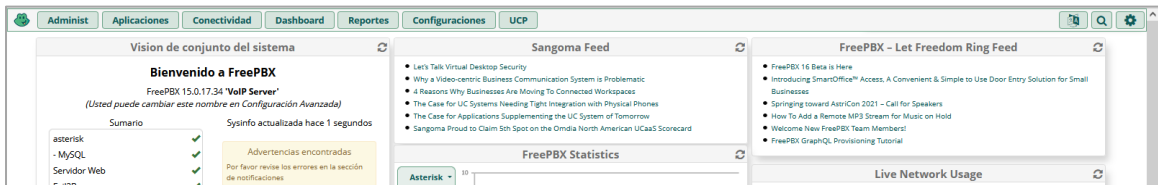
**Tabla 24**

*Heurística Nro. 6- Reconocimiento en lugar de recordar*

Interfaz (GUI)	Valor	Observaciones
FreePBX 15	3	A pesar de usar términos conocidos dentro del mundo de los sistemas de PBX, la falta de iconos que relacionen esos términos con las acciones y las opciones, dificulta reconocer las mismas, como se observa en la Figura 35.
Issabel 4	5	El buen uso de sus múltiples iconos permite reconocer las opciones y acciones más importantes del sistema, como se observa en la Figura 36.

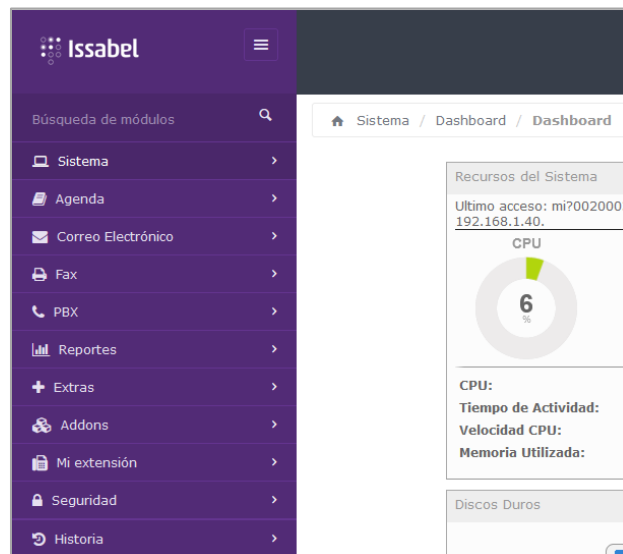
**Figura 35**

*Falta de iconos en la interfaz de FreePBX*



**Figura 36**

*Uso de Iconos en la interfaz de Issabel*



**Heurística Nro. 7 (Flexibilidad y eficiencia de uso).** Los accesos directos, ocultos para los usuarios novatos, pueden acelerar la interacción para el usuario experto, de modo que el diseño pueda satisfacer tanto a los usuarios novatos como a los experimentados. Permitir a los usuarios personalizar las acciones frecuentes. En base a lo mencionado en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 25.

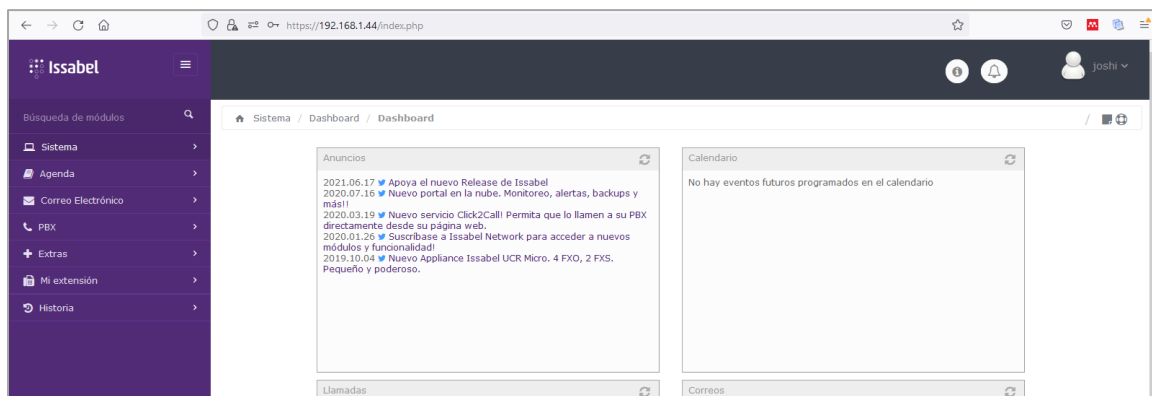
Tabla 25

*Heurística Nro. 7- Flexibilidad y eficiencia de uso*

Interfaz (GUI)	Valor	Observaciones
FreePBX 15	2	El sistema no cuenta con creación de usuarios y roles por lo que la interfaz será la misma siempre.
Issabel 4	4	El sistema cuenta con creación de usuarios con roles, por lo que estos tendrán una interfaz diferente según su rol. Esto se muestra en la Figura 37.

Figura 37

*Usuario con rol de Extensión y opciones propias del rol en Issabel*



**Heurística Nro. 8 (Diseño estético y minimalista).** La interfaz no debe contener información que sea irrelevante o que rara vez se necesite. Cada unidad de información adicional en la interfaz compete con las unidades de información relevantes, reduciendo la visibilidad. En base a lo mencionado en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 26.

**Tabla 26***Heurística Nro. 8- Diseño estético y minimalista*

<b>Interfaz (GUI)</b>	<b>Valor</b>	<b>Observaciones</b>
<b>FreePBX 15</b>	5	La interfaz de FreePBX no contiene elementos innecesarios que distraigan a los usuarios de la información que realmente necesitan y se centra en sus funciones y configuración de las mismas. Esto se puede observar en la Figura 29.
<b>Issabel 4</b>	5	La interfaz de Issabel prioriza el contenido y las funciones para respaldar los objetivos principales. Esto se puede observar en la Figura 30.

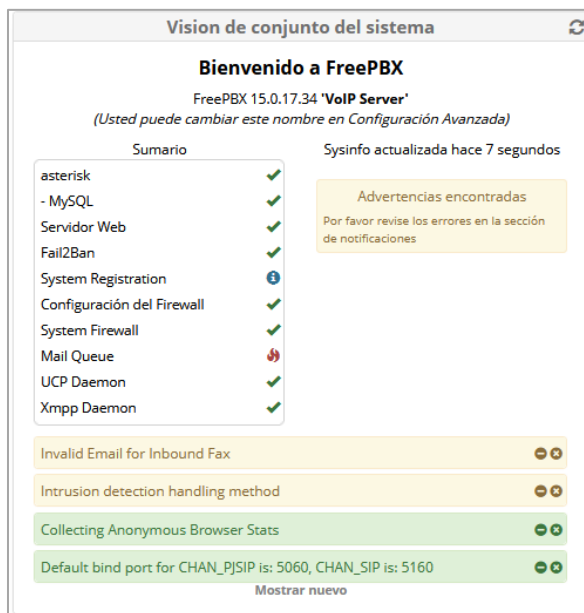
**Heurística Nro. 9 (Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores).** Los mensajes de error deben expresarse en un lenguaje sencillo (sin códigos de error), describir con precisión el problema y sugerir soluciones constructivas. Con base en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 27.

**Tabla 27***Heurística Nro. 9- Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores*

<b>Interfaz (GUI)</b>	<b>Valor</b>	<b>Observaciones</b>
<b>FreePBX 15</b>	4	El dashboard de FreePBX permite un diagnóstico general del sistema y especial el módulo de Visión del conjunto del sistema, el cual nos muestra advertencias del sistema para corregir errores. Esto se muestra en la Figura 38.
<b>Issabel 4</b>	3	El dashboard de Issabel nos muestra módulos que sirven para monitorizar el sistema, aunque no muestra advertencias a errores, sino que estos deberán ser interpretados por el usuario. Esto se muestra en la Figura 39.

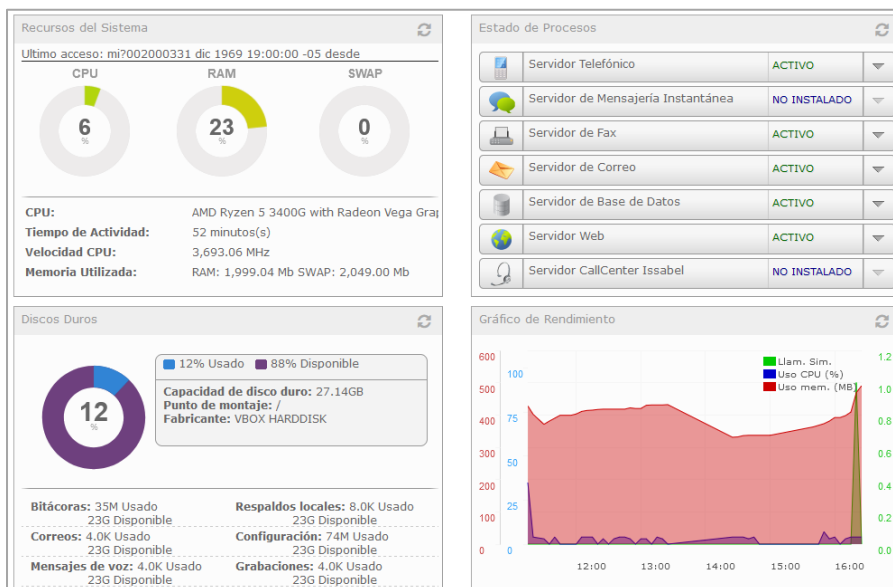
**Figura 38**

*Paneles de diagnóstico y alertas del sistema en FreePBX*



**Figura 39**

*Paneles de diagnóstico y alertas del sistema en Issabel*





**Heurística Nro. 10 (Ayuda y documentación).** Es mejor si el sistema no requiere de ninguna explicación adicional. Sin embargo, puede que se necesite proporcionar documentación para ayudar a los usuarios a comprender cómo realizar sus tareas. Con base en lo dicho en esta heurística, se procedió a calificar ambos PBX en la Tabla 28.

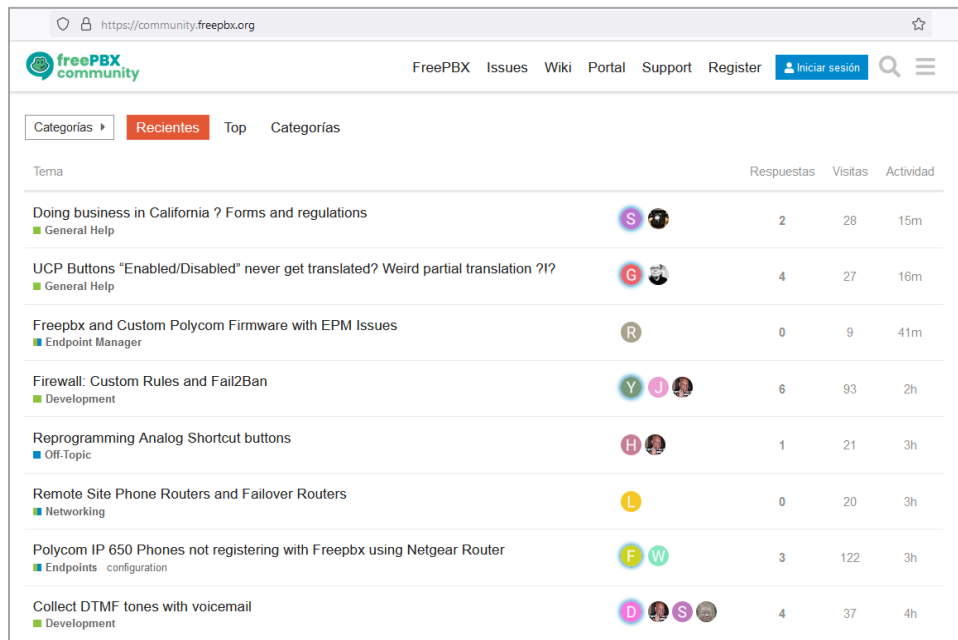
**Tabla 28**

*Heurística Nro. 10- Ayuda y documentación*

<b>Interfaz (GUI)</b>	<b>Valor</b>	<b>Observaciones</b>
<b>FreePBX 15</b>	4	Este software cuenta con documentación actualizada disponible desde su sitio web oficial <a href="http://freepbx.org">freepbx.org</a> . Además, cuenta con un foro en el que la comunidad hace las veces de soporte, como se muestra en la Figura 40. Su interfaz no cuenta con guías ni alertas de apoyo por lo que para solventar dudas habrá que consultar su documentación.
<b>Issabel 4</b>	4	Este software no cuenta con documentación oficial disponible, pero sí con una gran comunidad de apoyo activa en su Foro oficial <a href="http://forum.issabel.org">forum.issabel.org</a> . Si se requiere de documentación de apoyo habrá que conformarse con la documentación de Elastix 4.0, en la cual basa su funcionamiento. Además, su interfaz contiene una pequeña guía disponible desde el icono de flotador en la parte superior derecha, tal y como se muestra en la Figura 41.

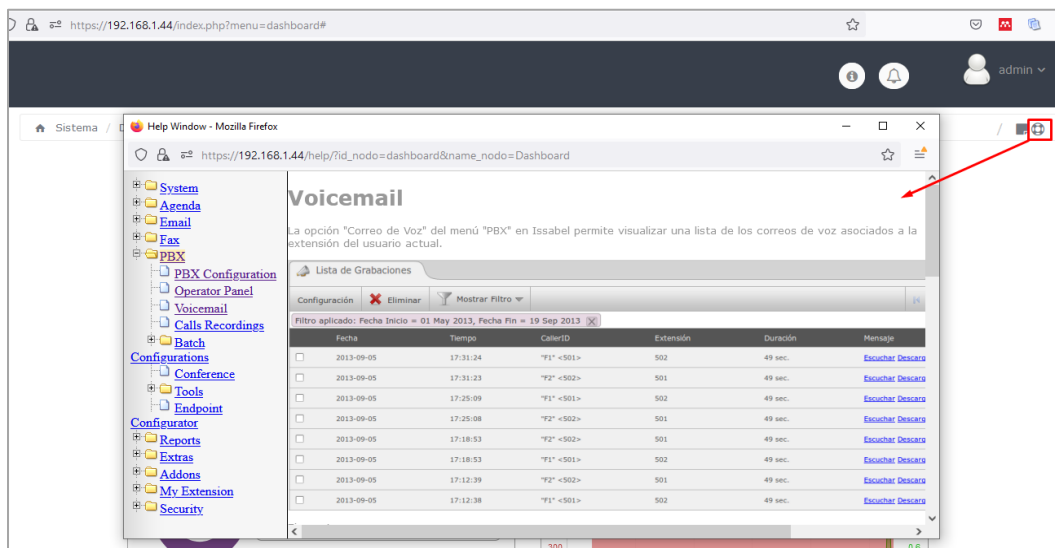
**Figura 40**

*Ayuda y documentación en FreePBX*



**Figura 41**

*Ayuda y documentación en Issabel*



**Análisis de resultados de la evaluación heurística.** La Tabla 29, muestra los resultados obtenidos en la evaluación heurística realizada en ambas PBX, estos responden a su puntaje según el cumplimiento de la heurística analizada. El valor promedio establece un único valor que define la calidad en la experiencia del usuario al manipular el sistema evaluado. Por otra parte, el valor promedio de ambos PBX Open-Source evaluados en este apartado, es muy similar, pero difieren en sus heurísticas con menor calificación. En FreePBX la heurística con menor valor calificado fue la Nro. 7, en cambio en Issabel fue la heurística Nro. 5.

**Tabla 29**

*Comparación de la evaluación heurística de Issabel y FreePBX*

<b>Heurística</b>	<b>FreePBX 15</b>	<b>Issabel 4</b>
#1 (Visibilidad del estado del sistema)	4	5
#2 (Coincidencia entre el sistema y el mundo real)	4	5
#3 (Control y libertad del usuario)	5	5
#4 (Coherencia y estándares)	5	5
#5 (Prevención de errores)	5	2
#6 (Reconocimiento en lugar de recordar)	3	5
#7 (Flexibilidad y eficiencia de uso)	2	4
#8 (Diseño estético y minimalista)	5	5
#9 (Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores)	4	3
#10 (Ayuda y documentación)	4	4
<b>Valor Promedio</b>	<b>4,1</b>	<b>4,3</b>

*Nota.* Creación propia.

Para poder expresar y definir de mejor manera los resultados mostrados en el valor promedio de la Tabla 29, se definieron valores de medición que permitirán descifrar de mejor manera el valor promedio, como se observa en la Tabla 30. Dando como resultado final de esta evaluación heurística, que tanto FreePBX e Issabel, tienen experiencia de usuario “Buena” a pesar de ciertas falencias mencionadas anteriormente.

**Tabla 30**

*Valor de medición de los valores promedio de las heurísticas*

<b>Valor de medición</b>	<b>Valor promedio de las heurísticas</b>
Muy Malo	1-1,99
Malo	2-2,99
Neutro	3-3,99
Bueno	4-4,99
Muy Bueno	5

## Capítulo V

### 5.1. Conclusiones

- Con base en el análisis y las pruebas realizadas, se determinó que la PBX Open-Source Issabel, es la mejor opción, para implementar en una organización. Debido a que en las pruebas realizadas la PBX se destacó en la calidad del servicio y la experiencia de usuario en su interfaz gráfica.
- Con la revisión sistemática de literatura de la documentación y de proyectos desarrollados sobre implementaciones PBX Open-Source, se analizaron las opciones disponibles, destacando sus características más relevantes y comparándolas en una matriz, lo que permitió la selección de dos PBX Open-Source, para su implementación y evaluación.
- El funcionamiento de los servicios configurados en ambas PBX Open-Source, fueron comprobados uno a uno, de tal manera que se demostró su completa funcionalidad. En las pruebas de funcionamiento de los servicios, se utilizó el SoftPhone Bria Solo, debido a que fue el único en contar con la función de videollamada habilitada.
- Con las pruebas de calidad de servicio, se logró un análisis comparativo de ambas centrales con respecto a la calidad de las llamadas, enfocándonos al uso de los códec G.711 (Alaw), G.722, G.729, GSM y SPEEX. Y, se evaluó los parámetros QoS en cada uno de ellos. El análisis de estas pruebas permitió demostrar que ambas PBX en general tienen una excelente calidad de servicio, en el uso de los códec mencionados. Sin embargo, la PBX Issabel maneja una mejor calidad en el uso del códec G.729.
- Con la evaluación heurística realizada a las dos PBX, se determinó que la experiencia de usuario y la usabilidad de la interfaz es buena. Sin embargo, ambas tuvieron una muy baja calificación con respecto a dos heurísticas. En el caso de FreePBX no contaba con una

flexibilidad y eficiencia de uso debido a que no se pudieron personalizar las vistas y opciones según el usuario, por lo que cumplió mínimamente la heurística Nro. 7. En el caso de Issabel no maneja una buena prevención de errores, por lo que ciertas acciones eran irreversibles, cumpliendo de manera limitada la heurística Nro. 5.

- En base a las pruebas realizadas en Issabel y FreePBX, se demostró la potencialidad de la implementación del software Open-Source para VoIP y sus beneficios en las comunicaciones de una organización.

## **5.2. Recomendaciones**

- Si se quiere realizar pruebas con respecto al soporte de video de una central telefónica, se recomienda utilizar el SoftPhone Bria Solo, ya que es la única que brinda la posibilidad de hacer videollamadas y que además permite el uso de hasta 5 servicios SIP.
- Para realizar una comparación entre varias centrales telefónicas, se recomienda establecer las mismas condiciones para todas, de tal manera que los resultados de esta comparación sean justos y puedan demostrar las fortalezas y falencias de cada una.
- Para implementar cualquier tipo de PBX que sea Open-Source, se recomienda verificar que cumpla con los siguientes requisitos: documentación actualizada y soporte activo por parte de la comunidad; de tal manera que tengamos el suficiente respaldo en caso de presentar inconvenientes en su implementación y puesta en marcha del servicio.

### Bibliografía

- Ajasa, A.A.A Shoewu, O. (2012). Exploiting VoIP telephony in IP PBX Solution. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 13(2), 212–222.  
[http://www.akamaiuniversity.us/PJST13\\_2\\_212.pdf](http://www.akamaiuniversity.us/PJST13_2_212.pdf)
- Álvarez Moraga, S. A., & González Valenzuela, A. J. (2005). Estudio Y Configuración De Calidad De Servicio Para Protocolos Ipv4 E Ipv6 En Una Red De Fibra Óptica Wdm. *Revista Facultad de Ingeniería - Universidad de Tarapacá*, 13(3), 104–113. <https://doi.org/10.4067/s0718-13372005000300015>
- Andersen, S., Duric, A., Astrom, H., Hagen, R., Kleijn, W., & Linden, J. (1967). Internet Low Bit Rate Codec (iLBC). *RFC 3951*, 1–194. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3951.html>
- Arora, R. (2000). *Voice over IP : Protocols and Standards*. 1–20.
- Asterisk. (2019). Supported Platforms. *Asterisk Project*.  
<https://wiki.asterisk.org/wiki/display/AST/Supported+Platforms>
- Asterisk. (2020). *Asterisk Versions*. Asterisk Project.  
<https://wiki.asterisk.org/wiki/display/AST/Asterisk+Versions>
- Asterisk. (2021). *Features Available in Asterisk*. <https://www.asterisk.org/get-started/features/>
- Baeza, J. P. (2009). *Manual de la Práctica 3 : Protocolos de Transporte TCP y UDP*. 9185, 1–19.
- Bhatnagar, S. G. S. (2008). *VoIP: Wireless, P2P and New Enterprise Voice over IP*.  
<https://www.wiley.com/en-us/VoIP%3A+Wireless%2C+P2P+and+New+Enterprise+Voice+over+IP-p-9780470997918>
- Bose, S., & Al-mumin, M. A. (2007). SMALL OFFICE PBX USING VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VOIP). *ResearchGate*, 1618–1622.  
[https://www.researchgate.net/publication/224702600\\_Small\\_office\\_PBX\\_using\\_voice\\_ov](https://www.researchgate.net/publication/224702600_Small_office_PBX_using_voice_ov)

er\_Internet\_Protocol\_VOIP

- Bourreau, M., & Doğan, P. (2004). Service-based vs. facility-based competition in local access networks. *Information Economics and Policy*, 16(2), 287–306.  
<https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2003.05.002>
- Carmona, D. (2014). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA CENTRAL IP – PBX BASADA EN ASTERISK PARA EL SISTEMA DE TELEFONÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PEREIRA*. 634.  
<https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/2882/1/DVDMIST3.pdf>
- CCITT. (1990). G.726: MODULACIÓN POR IMPULSOS CODIFICADOS DIFERENCIAL ADAPTATIVA Y (MICDA) JERARQUIZADA CON 5, 4, 3 Y 2 bits POR MUESTRA. *Recomendación G. 726*.
- Chaffin, L. (2006). SIP Architecture. *Building a VoIP Network with Nortel's Multimedia Communication Server 5100*, 345–385. <https://doi.org/10.1016/b978-159749078-8/50011-0>
- Chava, K. S., & Ilow, J. (2007). Integration of Open-Source and enterprise IP PBXs. *Proceedings of the 3rd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, TridentCom 2007*.  
<https://doi.org/10.1109/TRIDENTCOM.2007.4444692>
- Chávez, A., Rodríguez, M., & Diana, J. (2015). *Evaluación De Un Prototipo De Central Asterisk Implementado Sobre La Tarjeta Raspberry Pi*.
- Cisco. (2017). *IP Telephony/Voice over IP (VoIP)*. <https://www.cisco.com/c/en/us/tech/voice/ip-telephony-voice-over-ip-voip/index.html>
- Cisco System. (2021). What Is a PBX System? *Small Business Collaboration Resources*.  
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/small-business/resource-center/collaboration/what-is-a-pbx.html>



- Cisco System. (2006). Aplicaciones de Comunicaciones Unificadas : Usos y ventajas Enero de 2006. *Sage Research*. [https://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/small-business/Aplicaciones\\_de\\_Comunicaciones\\_Unificadas\\_Sage\\_Esp\\_2006.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/small-business/Aplicaciones_de_Comunicaciones_Unificadas_Sage_Esp_2006.pdf)
- Davidson, J. (2006). *Voice Over IP Fundamentals*. 394.  
<https://books.google.com/books?id=MLxfy6W8bxgC&pgis=1>
- Durresi, A., & Jain, R. (2004). *RTP, RTCP, and RTSP — Internet Protocols for Real- Time Multimedia Communication* (pp. 398–408). <https://doi.org/10.1201/9781420036336.ch28>
- ECaTT. (2000). Benchmarking Progress on New Ways of Working and New Forms of Business Across Europe. *Final Report, August, August*, 313.  
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Benchmarking+Progress+on+New+Ways+of+Working+and+New+Forms+of+Business+Across+Europe++Final+Report#6>
- Elastix. (2016). *Elastix 4*. <https://www.elastix.org/blog/latestnews-es/elastix-4/>
- Ermez Hard & Soft. (2014). *Calidad Voz IP*. Calidad Servicio Telefónico y Voz Ip.  
[http://www.ermes.com/Soporte/Documentacion/Ermez\\_Aqct\\_Web35/Ermez\\_Aqct\\_Web35.htm](http://www.ermes.com/Soporte/Documentacion/Ermez_Aqct_Web35/Ermez_Aqct_Web35.htm)
- ETSI. (1995). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General on Terminal Adaptation Functions (TAF) for Mobile Stations (MS) (GSM 07.01). *GSM TECHNICAL SPECIFICATION*.
- Fgee, E. B., Kenney, J. D., Phillips, W. J., Robertson, W., & Sivakumar, S. (2005). Comparison of QoS performance between IPv6 QoS management model and IntServ and DiffServ QoS models. *Proceedings of the 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference, 2005*, 287–292. <https://doi.org/10.1109/CNSR.2005.28>

- GroupGrupo Nielsen Norman. (2020). *10 heurísticas de usabilidad para el diseño de interfaces de usuario*. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- Imran, A., Qadeer, M. A., & Khan, M. J. R. (2009). Asterisk VoIP private branch exchange. *2009 International Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies, IMPACT 2009*, 217–220. <https://doi.org/10.1109/MSPCT.2009.5164214>
- Issabel. (2017). *Project Issabel*. <https://www.issabel.org/about-us/>
- Issabel Team. (2017). *Issabel 4.0*. <https://www.issabel.com/release-2-20170714/>
- ITU-T. (1988). G.722: GENERAL ASPECTS OF DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS. *Recommendation G.722*.
- ITU-T. (1993). *Itu-T G.711 Modulación Por Impulsos Codificados (Mic) De Frecuencias Vocales*. 711, 12. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711-198811-l/en>
- ITU-T. (1996). G. 729: Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP). *Mars*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.729-201206-l/es>
- Katherine, G. (2015). ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDEOCONFERENCIA BASADO EN LAS COMUNICACIONES UNIFICADAS Y COLABORACIÓN ENTRE LAS FACULTADES DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR. *UCE*, 151, 10–17. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Khan, S., & Sadiq, N. (2017). Design and configuration of VoIP based PBX using asterisk server and OPNET platform. *2017 International Electrical Engineering Congress, IEECON 2017*. <https://doi.org/10.1109/IEECON.2017.8075808>
- Kumar, A. (2006). An Overview Of Voice Over Internet Protocol (VoIP). *Rivier College Online Academic Journal*, 2(1), 1–13.

- Kumar, N., & Singh, M. P. (2020). Telecom Regulatory Authority of India. *New Dimensions in Federal Discourse in India, October*, 60–78. <https://doi.org/10.4324/9781003032663-5>
- Landívar, E. (2008). *Comunicaciones Unificadas con Elastix, Volumen 1*.
- Li, C., Li, H., Wang, K., & Nan, K. (2011). Research and implementation of unified communications system based on Elastix. *7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2011*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/wicom.2011.6040550>
- Liker, J. K. (2004). *Redes Convergentes. CWL Publishing Enterprises, Inc., Madison, 2004*(14), 352. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- M. Arango, Dugan, A., Elliott, I., Huitema, C., & Pickett, S. (1967). Media Gateway Control Protocol (MGCP) Version 1.0. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 1–134. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5456.html>
- Martelo, R. J., Blanquicet, I., & Rodríguez, L. (2015). *Metodología para Seleccionar Aplicaciones de la Tecnología de Comunicaciones Voz sobre la IP (VoIP).pdf*.
- Marwah, M., & Mishra, S. (2011). Wireless IP Telephony. *Handbook of Computer Networks*, 2(2), 991–999. <https://doi.org/10.1002/9781118256114.ch62>
- McGraw-Hill. (2012). *Protocolo TCP/IP. May 25, 2012*, 24. <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448199766.pdf>
- Oz, E. (2004). *Management information systems* (M. Boston (ed.)). <https://www.worldcat.org/title/management-information-systems/oclc/56456121?referer=di&ht=edition>
- Phillippa. Biggs. (2007). *the Status of Voice Over Internet Protocol (Voip) Worldwide, 2006. Geneva: (ITU) The Future of Voice, January*, 49.

<https://www.itu.int/osg/spu/ni/voice/papers/FoV-VoIP-Biggs-Draft.pdf>

Phillippa Biggs, I. (2009). Gsr 2009. *Itu, November*.

Picher, M. (2015). *List of Features*. SipXcom Wiki.

<http://wiki.ezuze.com/display/sipXcom/List+of+Features>

Postel, J. (2003). User Datagram Protocol. *TCP/IP Clearly Explained, August*, 341–349.

<https://doi.org/10.1016/b978-155860782-8/50020-8>

Salcedo Parra, O. J., López, D., & Ríos, Á. P. (2012). Desempeño de la calidad del servicio (QoS) sobre IPv6. *Revista Tecnura*, 15(28), 32.

<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2011.1.a03>

Sánchez, A. (2016). *Elastix 5 elige 3CX para su Motor de Telefonía*. 3CX Blog.

<https://www.3cx.es/blog/elastix-5/>

Sánchez, A. (2017). *Preguntas que le Ayudarán a Elegir la Central Telefónica Adecuada*. SISTEMA DE COMUNICACIÓN 3CX. <https://www.3cx.es/blog/como-elegir-central-telefonica/>

Sangoma. (2004). *Ecosistema FreePBX*. <http://www.solutec.com.mx/wp-solutec/wp-content/uploads/2015/07/ficha-tecnica-Sangoma-FreePBX-Ecosystem.pdf>

Sangoma. (2016). *Install FreePBX*. Documentación.

<https://wiki.freepbx.org/display/FOP/Install+FreePBX>

Sangoma. (2018). *Funciones de Asterisk*. Capterra.

<https://www.capterra.ec/software/60249/asterisk#features>

Scarlet, D. (2013). Issabel. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1(1), 2.

Schooler, J. R. H. S. G. C. A. J. J. P. R. S. M. H. E. (2002). *SIP: Session Initiation Protocol*. Request for Comments: 3261. <https://www.rfc-editor.org/rfc/inline-errata/rfc3261.html>

Schulzrinne, H. (2004). Internet telephony. *The Practical Handbook of Internet Computing*, 6-1-

6–28. <https://doi.org/10.1201/9780203507223>

Sigcha Morochz, M. D. (2018). Análisis del desempeño de un sistema de VoIP Asterisk implementado sobre un servidor remoto y sobre un servidor físico. Sigcha. *Universidad De Las Fuerzas Armadas Espe*, 29–50.

SignalWire. (2021). *Build with the O.G.s*. <https://signalwire.com/company/about-us>

sipXcom. (n.d.). *sipXcom*. <http://sipxcom.org>

Smith, J. K., & Blumenthal, G. (2019). *FreePBX Supported Codecs*. VoIP Features. <https://wiki.freepbx.org/display/DIMG/Supported+Codecs>

Spencer, M., Capouch, B., E. Guy, E., Miller, F., & Shumard, K. (1967). IAX: Inter-Asterisk eXchange Version 2. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 5–24. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5456.html>

Steinke, S. (2020). Rec ITU-T H.323. *Packet-Based Multimedia Communications Systems*, 201–204. <https://doi.org/10.1201/9781482280876-49>

Thorne, D. J. (2001). VoIP — The Access Dimension. *BT Technology Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1011386902451>

Torres Morales, R. (2008). La telefonía IP VS Telefonía tradicional : aspectos técnicos y regulatorios en el mercado peruano. *Telecomunicaciones y Empresas*, 1–25. <http://www.teleley.com/revistaperuana/7rafael-53.pdf>

UIT-T. (2008). *Recomendación UIT-T E.800 Definiciones de términos relativos a la calidad de servicio*. 1–34. <http://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I>

Uys, L. (2009). Voice over internet protocol (VoIP) as a communications tool in South African business. *African Journal of Business Management*, 3(3), 089–094. [https://academicjournals.org/article/article1380530093\\_Uys.pdf](https://academicjournals.org/article/article1380530093_Uys.pdf)

Valin, J.-M. (2007). The Speex Codec Manual. *Quality*, 1–65.

<https://www.speex.org/docs/manual/speex-manual.pdf>

Verkasalo, H. (2006). *Emerging Trends in the Mobile VoIP Business*. 1–5.

[https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s383042/2006/papers\\_pdf/C3.pdf%5Cndata-clk=hl=en&sa=T&oi=ggp&ct=res&cd=252&ei=f12qVauHBKbT0wHkvoX4CA](https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s383042/2006/papers_pdf/C3.pdf%5Cndata-clk=hl=en&sa=T&oi=ggp&ct=res&cd=252&ei=f12qVauHBKbT0wHkvoX4CA)

Werbach, K. (2005). *Utilizar la VoIP para competir*. Harvard Business Review.

<https://hbr.org/2005/09/using-voip-to-compete>

Westerlund, M., Perkins, C., & Lennox, J. (2021). RFC 8860 Sending Multiple Types of Media in a Single RTP Session Abstract. *RFC 8860*, 1–15.

Yamamoto, R., Iseki, F., & Kim, M. W. (2008). Validation of VoIP system for university network.

*International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT*, 3(1), 1836–1841. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2008.4494142>