



## Implementación práctica de un sistema de Voz sobre Protocolo de Internet para la empresa Ferrocarriles del Centro en Santa Clara, Cuba

*Voice over Internet Protocol Practical Implementation System for Ferrocarriles del Centro Company (Santa Clara, Cuba)*


 <https://doi.org/10.52948/mare.v4i1.683>

ARELYS EMILIANA RAMOS FLEITES

 <http://orcid.org/0000-0002-7200-9771>

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Cuba  
arelys@uclv.edu.cu

ENRIQUE HERNÁNDEZ PORTAL

 <http://orcid.org/0000-0002-2731-6385>

Ferrocarriles del Centro, Cuba  
enrique@ferronet.cu

### Artículo de investigación

**Recepción:** 18 de enero de 2022

**Aceptación:** 13 de septiembre de 2022

### Cómo citar este artículo

A. Ramos y E. Hernández, "Implementación práctica de un sistema de Voz sobre Protocolo de Internet para la empresa Ferrocarriles del Centro en Santa Clara, Cuba," Mare Ingenii, vol. 4, n.º 2, oct. 2022.

**Resumen:**

El dinámico desarrollo de las redes de datos en el mundo ha traído consigo la investigación y desarrollo de nuevos servicios encaminados a suplir las necesidades de comunicación en un mundo cada vez más exigente. Actualmente existen diferentes tecnologías que mejoran las comunicaciones a todos los niveles. En el presente trabajo se concibe desarrollar un sistema de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP, del inglés *Voice over Internet Protocol*) para brindar servicio de telefonía a las Comunicaciones, Señalización, Electricidad e Informática (COSIE) en la División Centro de Ferrocarriles de Cuba. Se caracterizan brevemente los protocolos y estándares para establecer servicios VoIP así como las herramientas que permiten la implementación de esta tecnología. Por tanto, se hace la propuesta del sistema para establecer llamadas desde un teléfono convencional a una PC; desde un teléfono IP a una PC, también a un teléfono convencional y llamadas múltiples entre todos los elementos del sistema. De esta manera se evalúan los resultados para cada uno de los escenarios usando herramientas de simulación. La propuesta tiene un alto significado para las comunicaciones ferroviarias y para los directivos, teniendo en cuenta que el alcance incluye las tres provincias centrales del país.

**Palabras clave:** VoIP; Asterisk; Elastic.

**Abstract:**

The dynamic development of data networks in the world has brought with it the research and development of new services aimed at meeting the communication needs in an increasingly demanding world. Currently there are different technologies that improve communica-

tions at all levels. In the present work, it conceived to develop a VoIP system to provide telephony service to Communications, Signaling, Electricity and Information Technology (COSIE) in the Central Division of Railroads of Cuba. The protocols and standards to establish VoIP services briefly characterized as well as the tools that allow the implementation of this technology. The system proposal made to establish calls from a conventional telephone to a PC, from an IP telephone to a PC and to a conventional telephone and multiple calls between all the elements of the system and the results evaluated for each of the scenarios using simulation tools. The proposal has a high significance for rail communications and for managers considering that the scope includes the three central provinces of the country.

**Keywords:** VoIP; Asterisk; Elastic.

**Introducción**

En la última década las transmisiones de voz sobre las redes de datos han tenido un ascenso acelerado. En Cuba muchas entidades usan este tipo de tecnología para brindar servicios telefónicos más económicos, empleando las infraestructuras de redes de comunicaciones ya desplegadas. En la mayoría de los casos, las comunicaciones basadas en VoIP son más baratas que las convencionales de conmutación de circuitos ya que utilizan el ancho de banda que ofrecen las redes de datos.

En ese sentido, se parte del siguiente problema científico: ¿Cómo aprovechar la red de datos del Centro de Comunicaciones de la Empresa Ferrocarriles del Centro para implementar un sistema de VoIP?

Como resultado, se diseña un proyecto para el sistema de VoIP de la Empresa Ferrocarriles del Centro. Su objetivo ge-

neral es desarrollar un sistema de VoIP que contribuya al mejoramiento de las comunicaciones telefónicas actuales para la empresa Ferrocarriles del Centro.

La Empresa Ferrocarriles del Centro y su Centro de Comunicaciones y Automática cuenta actualmente con un sistema de telefonía fijo automático que llega a todas sus dependencias. Con este proyecto la red interna cuenta con un servicio de telefonía adicional al tradicional a través de la red IP, la cual se logra encapsulando la voz en paquetes de datos o datagramas y enviarlos por la red.

El estándar de VoIP fue definido en 1996 por la International Telecommunications Union (ITU) para proporcionar a los diversos fabricantes las normas con el fin de que puedan evolucionar en conjunto. Realmente la integración de voz y datos en una misma red es una idea antigua, pues desde hace tiempo han surgido soluciones de distintos fabricantes que, mediante el uso de multiplexores, permiten utilizar las redes de datos de las empresas para la transmisión del tráfico de voz [1].

La señal de voz debe ser muestreada, digitalizada y codificada mediante un algoritmo de codificación determinado. Luego estos datos codificados y comprimidos son introducidos en paquetes y transmitidos sobre la red IP (empleando protocolo RTP/UDP/IP) para comunicaciones en tiempo real. Entre los elementos principales que forman una red VoIP se tienen los terminales o teléfonos IP, el *gatekeeper* para controlar y gestionar toda la comunicación y los *gateways* para hacer el enlace con la telefonía fija tradicional. La Fig. 1 muestra el modelo TCP/IP de capas para la transmisión de VoIP.

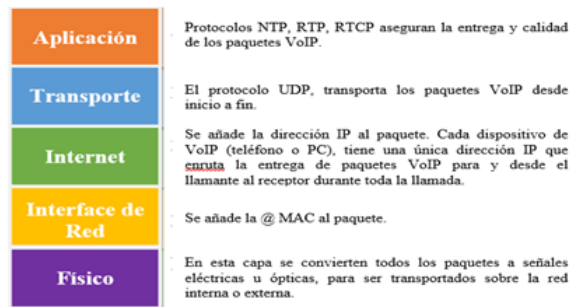


Fig. 1. Modelo TCP/IP para VoIP.

Además de los protocolos de transporte que emplea la tecnología, también intervienen otros de señalización como el H-323 y SIP para los procesos de establecimiento de la conexión, los procesos de control de la llamada y de control del canal. Por su parte, la fase de la transmisión de audio se realiza a nivel de transporte usando a RTP/RTCP. Es en este nivel donde se hace el control de flujo y corrección de errores [2].

El protocolo SIP surge como alternativa a H323; es de nivel de aplicación, maneja la señalización, y el control de llamadas; permite la localización de usuarios, así como sus capacidades para establecer los parámetros de comunicación de las partes involucradas. Por último, manipula el proceso de control de las llamadas a través de peticiones y respuestas SIP.

Otro de los elementos teóricos que se deben tener en cuenta para el desarrollo del proyecto es lo relacionado con los algoritmos de compresión de la voz, establecidos a partir de muestras de modulación por impulso codificado (PCM). Estas son comprimidas a partir de bloques de longitud que varían dependiendo del codificador y el tipo de estándar que se emplee en el proceso. La señal de voz pasa por los procesos de muestreo, cuantificación, codificación y compresión. Los estándares UIT más usados son el G.711, G723.1, G729, GSM [3].

A continuación, se muestran los elementos que comprenden el diseño del proyecto con las diferentes soluciones y se muestran los resultados. Para esto se tienen en cuenta parámetros que miden el desempeño y son evaluados en los distintos escenarios propuestos pues son los más sensibles y afectan la calidad de la voz. Entre ellos se tiene:

- **Eco:** se produce cuando una parte de la señal de ida se refleja en la señal de vuelta. Es común en señales analógicas cuando es difícil la separación de los hilos.
- **Retardo:** demora de la voz para llegar al destino. Debe ser menor de 200 ms para lograr conversaciones de voz de calidad.
- **Pérdida de paquetes:** cantidad de paquetes que no llegan a su destino. Cuando la pérdida de paquetes supera el 1% del total la conversación puede verse afectada.
- **Jitter:** vulnerabilidad al retardo. Puede provocar el descarte de paquetes que tengan retardos excesivos.

## Metodología

En este aspecto se describen los elementos de diseño del sistema de VoIP. Incluye una caracterización detallada de la tecnología empleada para la realización del proyecto, conceptos generales, ventajas, protocolos y códecs utilizados por Elastix, así como la arquitectura de la red de datos del Centro.

### A. Asterisk

Asterisk es una central digital diseñada en software libre que integra las funcionalidades de telefonía clásica con nuevas capacidades derivadas de su flexible y potente arquitectura. Originalmente, se creó para funcionar sobre el sistema operativo Linux. Actualmente puede funcionar en una variedad de

sistemas como OpenBSD, FreeBSD, MacOSX, Windows, Solaris, etc.

Este diseño permite poner en funcionamiento una PBX Asterisk con equipos de hardware de propósito general, con la correspondiente reducción de costos y variedad de equipamiento disponible frente a las tradicionales PBX, basadas en hardware y software propietario. Asterisk soporta gran cantidad de protocolos de comunicaciones VoIP y es compatible con la mayor parte de fabricantes del hardware empleado para telefonía IP.

La arquitectura fundamental de Asterisk es muy simple según se muestra en la Fig. 2, pero muy diferente de muchos otros productos de telefonía. Asterisk actúa principalmente como intermediario, conectando tecnologías de telefonía con aplicaciones telefónicas de forma transparente, creando un consistente ambiente para desplegar la telefonía mixta.

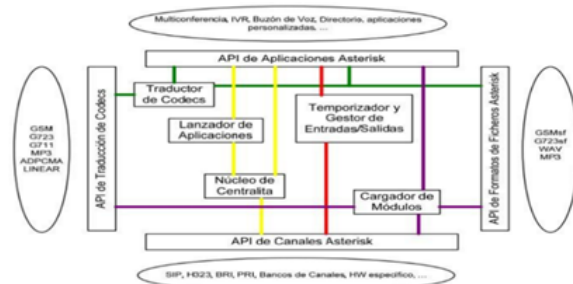


Fig. 2. Arquitectura de Asterisk.

Las redes tradicionales son formadas por unos equipos. Las tecnologías telefónicas pueden incluir servicios de VoIP tales como SIP, H.323, IAX y MGCP (tanto Gateway como teléfonos), así como la mayoría de las tecnologías TDM, como T1, E1, flujos primarios RDSI (PRI), servicios PSTN y otros. Las aplicaciones telefónicas incluyen conferencias, correo de voz, contestadora automática, aplicaciones IVR, estacionamiento de llamadas (*call parking*) y más [7]. Por su parte,

sobre los códecs más habitualmente empleados y disponibles en Asterisk se encuentran G.711, G.726, G.729, GSM, iLBC y Speex [6].

### **B. Implementación del Servidor PBX-IP: Elastix**

El servidor PBX-IP maneja un amplio rango de operaciones para ser capaz de transmitir la voz sobre la red de datos. Estas operaciones incluyen validación de usuarios, enrutamiento, administración general del servicio, carga de clientes, control del servicio, registro de usuarios, servicios de directorio, entre otros.

Ahora bien, Elastix es un servidor de comunicaciones unificadas que integra en un solo paquete algunas tecnologías claves como: VoIP PBX, Fax, mensajería instantánea, así como Email.

Elastix es una distribución de software libre. Está basado en el sistema operativo CentOS, una popular distribución Linux orientada a servidores [8]. Implementa gran parte de su funcionalidad sobre cuatro programas de software muy importantes como son Asterisk, Hylafax, Openfire y Postfix [5], [8]. Debido a su confiabilidad, modularidad y sencilla operación, Elastix se presenta como la mejor elección para desarrollar una PBX IP [10]; permite poner en operación toda una plataforma de telefonía IP, desde un ambiente gráfico Web para la administración de los servicios y su integración de forma sumamente fácil y sencilla, sin que sea necesario conocer la línea de comandos de Linux y Asterisk [9]. Elastix soporta varios protocolos: SIP, IAX, H.323, MGCP y SKNNY; además de códecs como ADPCM, G.711, G.722, G.723.1, G.726, G.7299 (si se compra licencia comercial), GSM e iLBC [13].

Una vez conectados, los usuarios pueden transmitir voz y vídeo en tiempo real, utilizando cualquiera de los protocolos y códecs soportados [5], [9].

### **C. Tecnología por emplear**

A continuación, se describen los elementos que forman el sistema de VoIP.

**1) Terminal (Softphone):** en el mundo se ha hecho común el uso del Softphone como terminal en los sistemas de telefonía IP. El que se utilizará será el Zoiper el cual se puede descargar en la página que se referencia en [11]. Es un software libre de fácil acceso en internet y puede ser utilizado con prácticamente todos los proveedores de Internet: inalámbrica, cable, DSL o WIFI.

**2) Teléfono IP:** existen variados fabricantes de teléfonos IP, como Polycom, Atcom, Linksys, Aastra, Cisco, Grandstream y Huawei, cada uno de ellos tienen sus propias características. Para este proyecto se cuenta con el teléfono IP eSpace 7810 de Huawei. Por tanto, en las siguientes páginas se exponen las principales características propias de la familia de teléfonos IP de Huawei. Este permite establecer llamadas de voz a través de la misma red de datos, hacer llamadas telefónicas, llamadas en espera transferencia de llamadas, llamadas en conferencias, etc.

**3) Gateway IAD132 E (T):** el dispositivo de acceso integrado (IAD) se localiza en el nivel de acceso según el modelo para redes de nueva generación (NGN). Este dispositivo adapta la VoIP y permite encapsular señales de voz analógicas en paquetes de datos para poder ser transmitidos sobre la red conmutada de paquetes y proveer servicio telefónico sobre una red global IP a un costo muy bajo. También tiene implementado acceso para datos y terminales visuales.

El IAD de Huawei, específicamente el IAD132E (T) [12], empleado en el proyecto, actúa como un Voice-

Fax basado en IP. Puede proveer servicios eficientes de voz y de alta calidad sobre la red global (Internet o Intranet) IP, y brindar soluciones VoIP/FoIP para clientes. Este modelo de IAD se enlaza en red con sistemas de softswitching a través del protocolo H.248 o MGCP, pero en nuestro caso particular emplea el protocolo SIP.

**4) Proyecto de VoIP para la red:** el esquema topológico que se muestra en la Fig. 3 solo incluye la arquitectura para el sistema de VoIP, es decir, la distribución de los teléfonos y las PC para realizar las pruebas y evaluación del sistema.

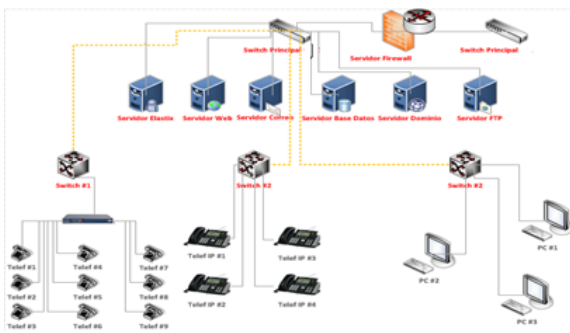


Fig. 3. Arquitectura de la red para VoIP.

El Servidor Elastix es configurado con dos troncos IAX, uno para el enlace con el Servidor Elastix del nodo central de la red ubicado en el COSIE (65xxx) y el otro para el enlace con el servidor Elastix con el de la empresa (61xxx), por los cuales saldrán todas las llamadas. El uso de las PBX y sus beneficios es esencial puesto que permite reducir el costo de las llamadas.

El Servidor Elastix es configurado con dos troncos IAX, uno para el enlace con el Servidor Elastix del nodo central de la red ubicado en el COSIE (65xxx) y el otro para el enlace con el Servidor Elastix con el de la Empresa (61xxx), por los cuales saldrán todas las llamadas. El uso de las PBX y sus beneficios es esencial

puesto que permite reducir el costo de las llamadas.

## Resultados y discusión

Se muestran los resultados del sistema VoIP y se hace una evaluación de la calidad de la llamada de acuerdo con el códec y cliente seleccionados. Además, se muestran los resultados del análisis de los escenarios partiendo de valores de calidad de voz subjetivos que van del uno al cinco según la medida que establece la UIT y que se detallan en la Tabla I [14].

TABLA I  
Calidad de la voz

MOS	Calidad de la voz	Nivel de distorsión
5	Excelente	Imperceptible
4	Buena	Apenas perceptible, no desagradable
3	Regular	Perceptible, levemente desagradable
2	Pobre	Desagradable, pero aceptable
1	Insatisfactoria	Muy desagradable, innaceptable

### A. Escenario I. Teléfono Conventional a PC

En la Fig. 4 se muestra la infraestructura de la red donde se genera una llamada desde el softphone con extensión 66225, hacia el teléfono convencional con extensión 66312 con una duración aproximada de cinco minutos y un códec G711.

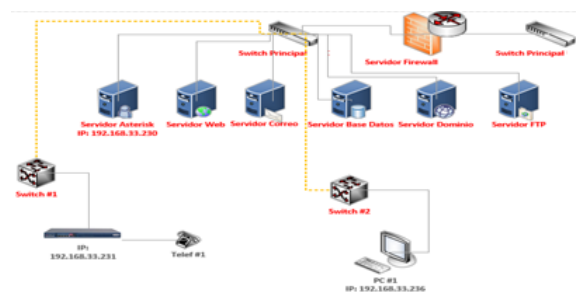
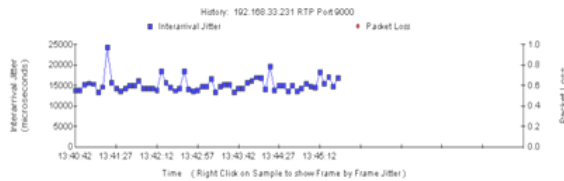
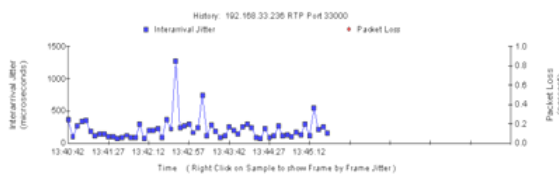


Fig. 4. Escenario 1.

Como se muestra en la Fig. 5 el valor máximo del jitter en el teléfono convencional no llega a 5 ms. para el teléfono IP, en la gráfica de la Fig. 6 corresponde a 1.5 ms por lo que no supera los 100 ms de límite, considerándose trivial para una llamada y no existen pérdidas de paquetes. Por otra parte, la calidad de la llamada según la muestra tomada es buena.



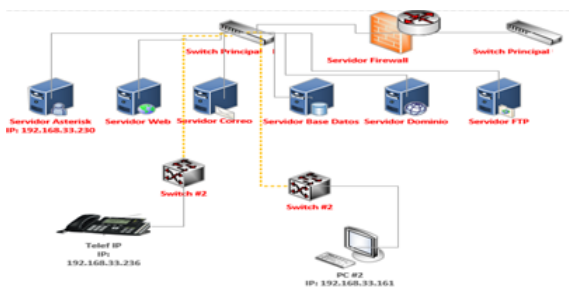
**Fig. 5.** Jitter en el teléfono convencional 192.168.33.231.



**Fig. 6.** Jitter en el softphone 192.168.33.236.

### **B. Escenario II. Teléfono IP a PC**

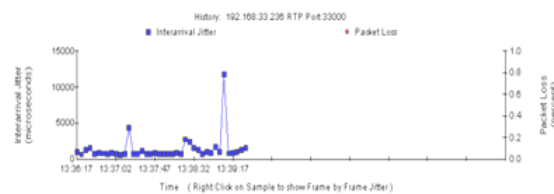
El esquema de la Fig. 7 muestra la infraestructura de la red donde se efectúa una llamada desde el teléfono IP eSpace 7810 con extensión 106, hacia una PC con extensión 108 de la oficina del director; asimismo, con una duración aproximada de tres minutos y un códec G711. Durante la llamada el usuario de la PC se encuentra interactuando en la red.



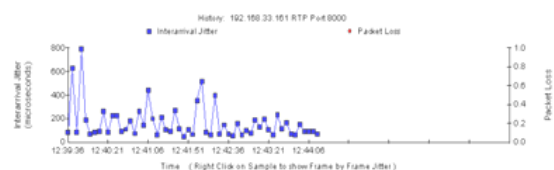
**Fig. 7.** Infraestructura de la red.

Como se muestra en la Fig. 8 el valor máximo del jitter en el teléfono IP no llega a 15 ms y en la PC (Fig. 9) los 0.8 ms por lo que no supera los 100 ms de límite. Se considera insignificante para una llamada y no existen pérdidas de paquetes.

La calidad de la llamada según la muestra tomada es buena. Además, se ve una pequeña variación en el minuto 13:39:47. Esto se debe un acceso al teléfono IP desde una PC mediante la red a su página de configuración mientras mantenía la conversación.



**Fig. 8.** Jitter en el teléfono IP 192.168.33.236.



**Fig. 9.** Jitter en la PC 192.168.33.161.

### **C. Escenario III. Teléfono IP a Teléfono convencional.**

Se efectúa una llamada desde el teléfono IP con extensión 108 oficina del nodo, hacia un teléfono convencional con extensión 100 atravesando por el IAD132 E(T), según el esquema de red que se muestra en la Fig. 10. Es una llamada con una duración de aproximadamente cinco minutos en una situación estable.



Fig. 10. Infraestructura de la red.

Como se muestra en la Fig. 11 el valor máximo del jitter en el teléfono IP, no sobrepasa los 0.8 ms y en la Fig. 12 el teléfono convencional no supera los 8 ms, haciendo una comparación con 100 ms límite establecido por la ITU se considera intrascendente. Por lo antes analizado y la no existencia de pérdidas de paquetes, la calidad de la llamada según la muestra tomada es excelente.

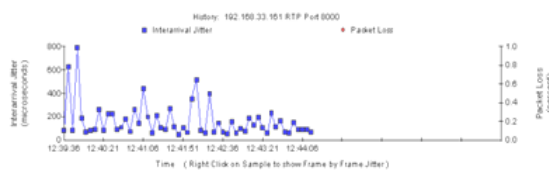


Fig. 11. Jitter en el teléfono IP 192.168.33.161.

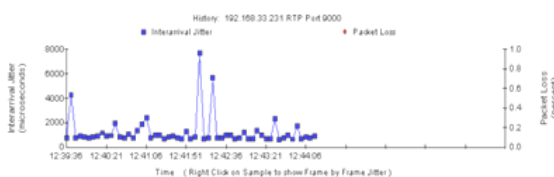


Fig. 12. Jitter en el teléfono convencional 192.168.33.231.

#### D. Escenario IV. Llamadas múltiples

En la Fig. 13 se muestra la red donde se efectúa una llamada desde el teléfono IP con extensión 106, desde la oficina del especialista principal hacia un teléfono convencional con extensión 100, atravesando por el IAD132 con un códec GSM. Es una llamada con una duración de aproximadamente cinco minutos en una situación estable. Luego ocurre otra

llamada en el tercer minuto de la anterior, desde otro teléfono convencional de extensión 101 hacia una PC con 108 en la oficina del nodo con una duración de dos minutos y un códec G711.

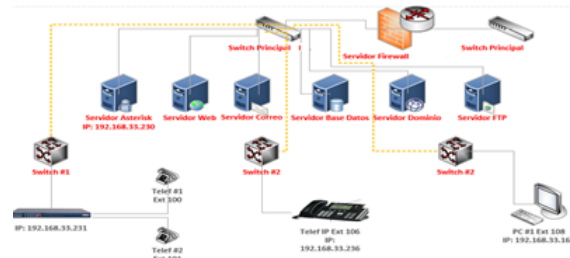


Fig. 13. Infraestructura de la red.

En este escenario el jitter se comporta más inestable según la Fig. 14. Por la presencia de mayor tráfico de llamadas se muestra la diferencia en el minuto donde comienza la segunda llamada, sin embargo, tampoco llega a 15 ms no superando el límite de 100 ms, lo suficientemente lejos como para ser significativo para el oído humano y no hay pérdida de paquetes. De igual manera, la calidad de la llamada según la muestra tomada es buena.

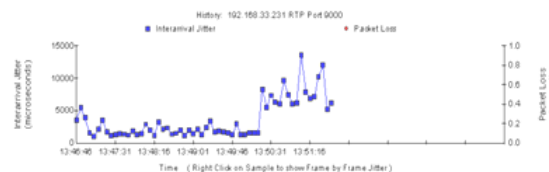


Fig. 14. Jitter en el teléfono convencional 192.168.33.231.

#### E. Reportes de llamadas

El esquema de la Fig. 15 muestra un reporte de llamadas en veinticuatro horas usando el sistema de VoIP implementado. Allí se reflejan las llamadas en un día donde un 39% corresponde a las entrantes y un 61% a las salientes para un total de 9258 llamadas.



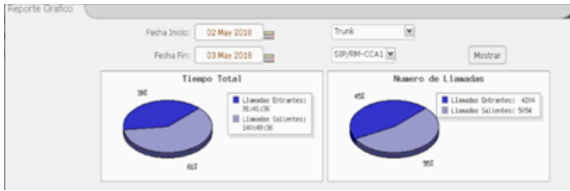


Fig. 15. Reporte de llamadas en un día.

Sobre el reporte de llamadas semanal, se reflejan las llamadas en una semana donde un 48% corresponde a las entrantes y un 52% a las salientes para un total de 40413 llamadas (Fig. 16).

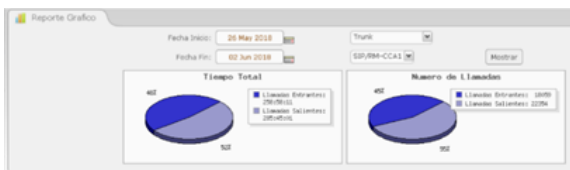


Fig. 16. Reporte de llamadas semanal.

Por último, en el reporte de llamadas mensual la Fig. 17 refleja las llamadas en un mes donde un 48% corresponde a las entrantes y un 52% a las salientes para un total de 126481 llamadas.

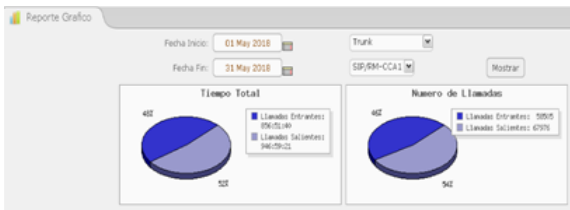


Fig. 17. Reporte de llamadas mensual.

### Conclusiones

La implementación del sistema telefónica IP en la empresa de Ferrocarriles del Centro, específicamente en el centro de comunicaciones (COSIE), mejora sustancialmente las comunicaciones de voz al crear nuevas capacidades de servicios y utilizar más eficientemente los recursos contratados a la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA).

En ese sentido, la selección del sistema de comunicación telefónica basado en VoIP y el equipamiento a emplear se realizó en función de la tecnología que posee la institución.

La convergencia de voz y datos facilita el desempeño de sus especialistas debido a las aplicaciones novedosas que se han creado, como son los servicios, correo unificado de voz y datos, aplicaciones que facilitan el trabajo colectivo, teleconferencias, servicios de PBX IP, entre otras, dándole valor a esta convergencia.

El diseño que se realizó modifica la forma en que se obtienen los servicios telefónicos, el mismo permite que en la unidad existan servicios de la telefonía usando la PSTN y los servicios de VoIP.

Después de evaluar la PBX Asterisk se concluye que en los cuatro escenarios evaluados no existe afectación del jitter significativo para el oído humano, ni pérdida de paquetes, por tanto los resultados son satisfactorios.

### Referencias

- [1] A. Sierra, *Instalación de un sistema VoIP corporativo basado en Asterisk*, tesis MA, Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Cartagena Universidad Politécnica de Cartagena, España. [Internet]. Disponible en <https://repositorio.upct.es/handle/10317/737>
- [2] UIT. (2022, jun. 7). "H.323: Sistemas de comunicación multimedia basado en paquetes". [Internet]. Disponible en <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.323/es>
- [3] UIT. (2015, abr. 13). "G.711.1: Wideband embedded extension for ITU-T G.711 pulse code modulation." [Internet]. Disponible en <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.711.1/en>

- [4] D. Quintana, *Diseño e implementación de una red de telefonía IP con software libre en la RAAP*, trabajo de grado, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, Perú, 2007. [Internet]. Disponible en <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/205>
- [5] Rivera Calero y B. Poma Nacipucha, *Diseño e implementación de centrales telefónicas de voz sobre IP para prácticas de análisis de tráfico, señalización, protocolos de conmutación y troubleshooting VOIP para uso en el laboratorio de telecomunicaciones*, trabajo de grado, Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2014. [Internet]. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6556>
- [6] E. Landívar. (2008). *Comunicaciones unificadas con Elastix* (1ª ed.) [Internet]. Vol. 1. Disponible en <http://www.it-docs.net/ddata/799.pdf>
- [7] V. Chouliaras y J. Nuñez, "Scalar Co-processors for Accelerating the G723 and G729A Speech Coders", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, n.º 3, 2003.
- [8] J. Perera. (2013). "Estudio de la tecnología VoIP a través de Elastix". [Internet]. Disponible en <https://silo.tips/download/introduccion-a-la-voip-a-traves-de-elastix-jose-alvaro-perra-dominguez-uoc-2013>
- [9] E. Landívar, *Comunicaciones unificadas con Elastix.*, vol. 1, 2008.
- [10] L. Castillo, *Diseño de un laboratorio virtual de telefonía IP utilizando Elastix*, tesis MA, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador, 2015. [Internet]. Disponible en <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3164>
- [11] Zoiper. (s.f.). "Products". [Internet]. Disponible en <https://www.zoiper.com>
- [12] *Huawei IP Phone eSpace 7810. Administrator Guide*, 1ª ed., Huawei Technologies CO., LTD., 2011, pp. 191. [Internet]. Disponible en <https://www.manualslib.com/manual/1175977/Huawei-Espace-7810.html#manual>
- [13] *Configuración IAD123E Huawei U-SYS*, Huawei Technologies CO., LTD., s.f.
- [14] ITU. (2006, sep. 26). "Calidad de servicio en las comunicaciones: Marco y definiciones". [Internet]. Disponible en <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1000-200111-l/es>