

# Sustitución de PBX con extensiones analógicas utilizando VoIP instalada en la nube

Replacing PBX with analog extensions using cloud-installed VoIP

MSc. Yoan Larry Cecilio Nuñez<sup>1\*</sup>, Ing. Ervin Arocha González<sup>2</sup>,  
Ing. Omar Maturell Verdecia<sup>3</sup>

---

## Resumen

El corazón de todo sistema de comunicaciones en un hotel es la pizarra telefónica (PBX), encargada de realizar las conexiones entre los teléfonos internos del hotel y salida hacia la red telefónica pública. El uso de pizarras tradicionales constituye un aspecto neurálgico en este sentido y constituye un problema tanto para el cliente como para el proveedor de servicio en la red, el primero por el elevado costo de las mismas y la limitante en cantidad de extensiones, mientras que a los segundos los afecta considerablemente los protocolos de señalización antiguos que utilizan las mismas para conectarse a su red. La solución propuesta permite al cliente disponer de un equipamiento híbrido capaz de integrar los terminales analógicos a una central de VoIP, lo que convierte la misma en un sistema muy flexible y económico en comparación con las pizarras tradicionales.

**Palabras clave:** VoIP, PBX, virtualización, extensiones.

1\* ETECSA, Cuba, [yoanlarry.cecilio@etecsa.cu](mailto:yoanlarry.cecilio@etecsa.cu)

2 ETECSA, Cuba, [ervin.arocha@etecsa.cu](mailto:ervin.arocha@etecsa.cu)

3 ETECSA, Cuba, [omar.maturell@etecsa.cu](mailto:omar.maturell@etecsa.cu)

## Abstract

*The heart of every communications system in a hotel is the Private Branch Exchange (PBX), in charge of making the connections between the hotel's internal telephones and the output to the public telephone network. The use of traditional PBX constitutes a neuralgic aspect in this sense and constitutes a problem both for the client and for the service provider in the network, the former due to their high cost and the limited number of extensions, while The latter are considerably affected by the old signaling protocols that they use to connect to their network. The proposed solution allows the client to have a hybrid equipment capable of integrating the analog terminals to a VoIP exchange, which makes it a very flexible and economical system compared to traditional PBX.*

**Keywords:** VoIP, PBX, virtualization, extensions.

## Introducción

La voz sobre IP está teniendo un gran auge actualmente, apoyada en dos pilares fundamentales: el protocolo SIP, como mecanismo de señalización, y la aplicación OpenSource Asterisk, que brinda una solución por software para el montaje de pequeñas centrales telefónicas. Aunque existen otros programas OpenSource con funcionalidades similares al Asterisk, este ha probado ser el líder del mercado, teniendo, su gran aceptación en entornos dinámicos e innovadores como son las empresas de tecnología o de corte tecnológico.

Las pizarras de VoIP dan la oportunidad de utilizar equipamiento de telecomunicaciones conectadas a las mismas, que permiten integrar terminales analógicos con el objetivo de mantener los servicios tradicionales a los clientes, e integrarlos a los teléfonos multimedia que brindan las mismas, lo que permite solucionar aspectos como:

- Elevados costes de comunicación del hotel.
- Elevados costes en la inversión para la renovación de equipos.
- Elevados costes de mantenimiento de equipos.
- Poder integrar todas las comunicaciones del hotel, voz fija, voz móvil, datos, Internet, mantenimientos de equipos, asesoría especializada, todo con una cuota y un solo proveedor.

## Materiales y métodos

Para la implementación de una pizarra de VoIP se debe identificar primero las características del entorno en que la misma será instalada y los requerimientos de los clientes, entre estos se pueden señalar:

- Servicios que serán ofertados y tipos de terminal de usuario soportados, dependiendo del cliente.
- Elección del protocolo de señalización.
- Calidad de servicio requerida para asegurar una comunicación satisfactoria.
- Riesgos de seguridad, que deben estar claramente identificados, empleándose técnicas apropiadas para asegurar que los terminales de usuario, en particular, estén protegidos frente a ataques.
- Fiabilidad y disponibilidad.
- Cantidad de ancho de banda disponible en la red de acceso del usuario.
- Sistema de tarificación a adoptar.
- Mecanismos de interconexión.

La solución de VoIP propuesta utiliza las capacidades de red disponibles y se incorporan nuevos equipos físicos y virtualizados que completan el escenario necesario para brindar el servicio con calidad y seguridad. Los elementos se muestran a continuación:

- Control del servicio para llamadas externas a la pizarra (Softswitch).
  - Seguridad de la red de control (SBC).
  - Capacidades en la red MPLS actual.
  - Capacidades de acceso que garantizan la conectividad de los clientes a la pizarra.
- Pizarra virtual.
- Terminales multimedia fijos.
- Terminales multimedia móviles.
- Adaptador de terminales analógicos.

## Elemento de Control

El principal elemento en una red de VoIP es el equipamiento que garantiza el control del servicio. La red actual de ETECSA consta de va-

rios elementos que cumplen con esta función, tanto en ambiente NGN como IMS, dependiendo del proveedor que brinde el servicio. En la presente investigación se utiliza el Softswitch de Huawei, que realiza en la actualidad la función de tandem nacional, y el desarrollo con su proveedor es estratégico para el futuro crecimiento de la red de telecomunicaciones cubana.

## Seguridad en la red

Garantizar la seguridad para cualquier servicio de telecomunicaciones es un punto que no se puede obviar en el proceso de implementación ya que la no utilización de equipos con este fin no impide que la VoIP funcione, pero la estabilidad e integridad de los datos podrían verse peligrosamente comprometidas ante ataques informáticos, lo que redundaría en un servicio de poca calidad que estaría destinado al fracaso y afectaría de forma irremediable el prestigio de la empresa que lo brinde.

Existen varios equipos que pueden cumplir con la función de garantizar la seguridad en las diferentes capas de la red, pero específicamente para el servicio de VoIP el más ampliamente utilizado es el Controlador de Borde de Sesión — (SBC), Session Border Controller—.

En el presente trabajo se propone el SBC del proveedor Huawei, recientemente insertado en la red actual y que forma parte de la estrategia de ETECSA para garantizar la protección del equipamiento ubicado en la “zona no segura de la red” tales como pizarras u otros equipos de acceso que puedan ser implementados por los clientes externos y necesiten de la conexión a la red nacional.

## Elementos en la red MPLS

La red MPLS es la encargada de garantizar que la VoIP sea operativa desde cualquier acceso con independencia de localización del cliente, en otras palabras, es la que permite en conjunto con los elementos de acceso la movilidad del servicio. Teniendo en cuenta los diferentes escenarios definidos por el tipo de acceso, MPLS ejecuta diversas configuraciones que, sin afectar el tráfico de datos existente (hacia Internet o la red interna de ETECSA) permite a los terminales de los clientes que soliciten el servicio de VoIP registrarse en el SBC así como encastrar el flujo de la voz a través de este.

Al realizar un análisis de los índices de utilización de las capacidades de la red, se observa que es bajo, por ejemplo, los enlaces del núcleo nacional MPLS (100 Gb/s) tienen un índice de utilización inferior al 50% en horario de alto tráfico. Esto garantiza que al incluir la PBX no se saturen los mencionados enlaces y que el ancho de banda sea suficiente para que las llamadas no vean afectadas sus principales parámetros de calidad de servicio (QoS).

En el escenario propuesto, el servicio a los usuarios lo brinda la PBX virtualizada, lo que garantiza que esta tenga el completo control de todas las llamadas internas, así como la posibilidad de decidir cuál usuario tiene permiso de salida hacia la red nacional. La influencia de MPLS en esta configuración se reduce a garantizar el acceso entre la pizarra, SBC y Softswitch como se muestra en la Figura. 1.

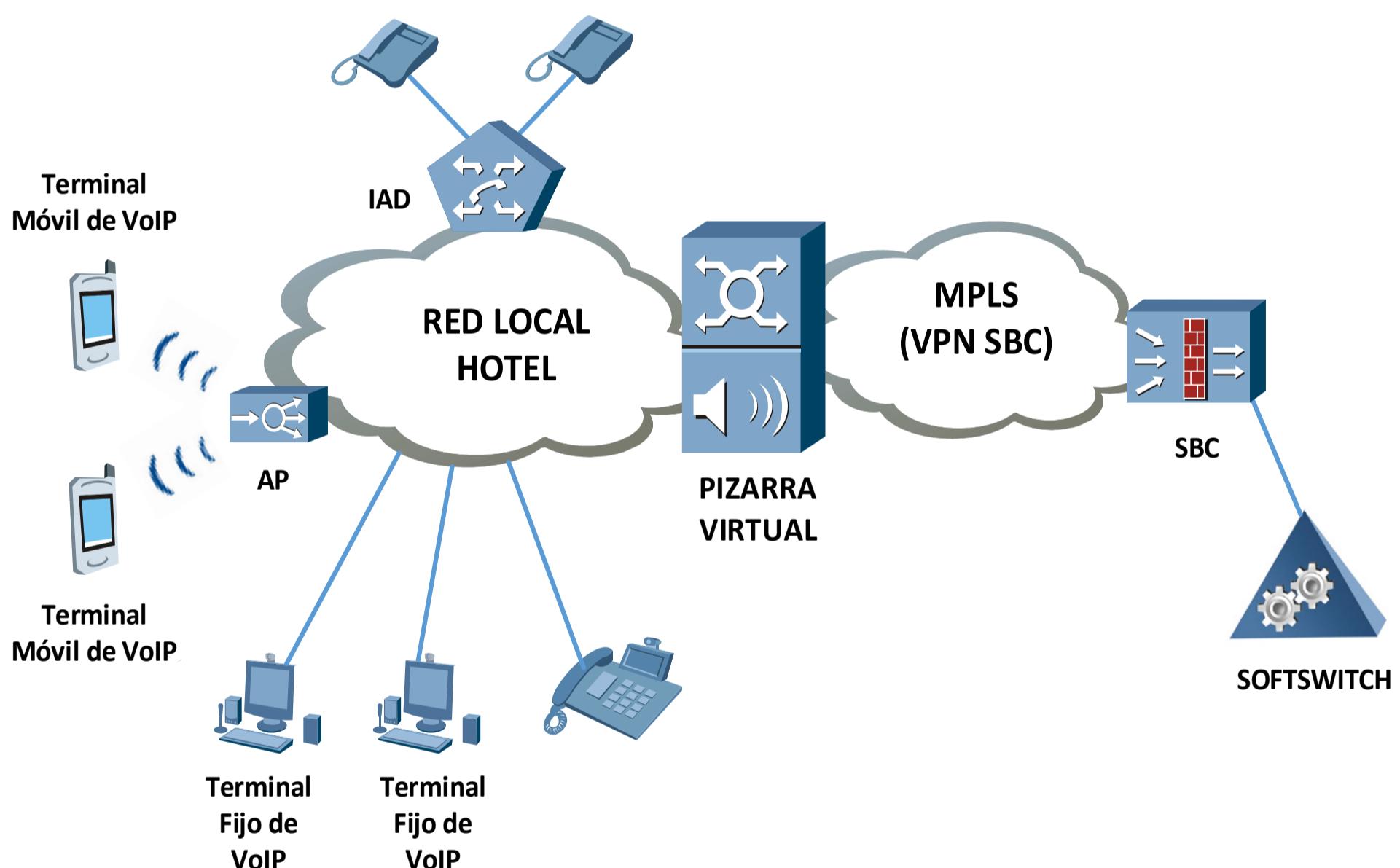


Figura. 1. Arquitectura de red para servicio de pizarra VoIP virtual en hotel

## Elementos de acceso

La red de acceso es la encargada de brindar la conectividad total a los clientes que quieran utilizar el servicio de VoIP, en ella se localizan los terminales de los clientes, así como los equipos físicos que garantizan la conectividad. En lo adelante se describen cada uno de estos ele-

mentos, enfocándose en las características principales que permiten brindar la VoIP y definiendo criterios de selección en el caso de constituir nuevos equipos a implementar, o mencionado aquellos que ya se tienen y se reutilizan.

## **Servidor para virtualización**

El concepto de virtualización hace referencia a una tecnología que permite la ejecución de varias máquinas virtuales sobre una máquina física con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos de un sistema y que su rendimiento sea mayor. Es importante destacar que a cada una de las máquinas virtuales se le pueden asignar unos recursos (memoria, unidades de almacenamiento, procesador...) y ejecutan una copia propia de sistema operativo (Windows, Linux...) (Limones, 2021).

El virtualizar una PBX por software (PBX virtual) permite simular un escenario en el Centro de Datos que facilita, no solo probar la VoIP en un ambiente empresarial que constituye el objetivo principal, sino que además sirve como referencia para un futuro despliegue de este tipo de equipos en ambiente virtualizado. Para la implementación es necesario conocer las características generales del equipamiento a utilizar en el centro de datos para virtualizar la pizarra seleccionada lo que incluye el hardware (disco duro, RAM y procesamiento), el hipervisor y el sistema operativo sobre el que funcionará la misma.

## **Servidor del Centro de Datos**

El Centro de Datos de Operaciones de ETECSA dispone de servidores con capacidad de procesamiento (CPU y RAM) y almacenamiento (Discos duros) suficientes para brindar a los clientes el servicio propuesto. Los mencionados servidores se encuentran configurados como clusters (conjunto de dispositivos físicos, que unidos entre sí mediante una red de gran velocidad actúan como un solo dispositivo lógico) que permiten ampliar su capacidad.

## **Hipervisor**

El término “hipervisor”, acuñado en los años 70, nació a partir de otro término que se usaba tradicionalmente para hacer referencia al kernel de un sistema operativo: “supervisor”. Al usar el prefijo “hiper”, el “hipervisor” se considera el supervisor de los “supervisores”. Un

hipervisor, también conocido como monitor de máquinas virtuales — (VMM), Virtual Machine Monitor— es una capa de virtualización de software que permite crear y ejecutar varias máquinas virtuales dentro de un único servidor, así como diferentes sistemas operativos. El servidor en el que el hipervisor ejecuta una o más máquinas virtuales se conoce como “host machine”, mientras que cada VM individual se conoce como “guest machine”.

El hipervisor se encarga de separar los recursos de la máquina virtual del sistema de hardware y de distribuirlos adecuadamente. Dado que son una parte esencial de la tecnología que respalda al cloud, los hipervisores facilitan la migración a la nube y, por lo tanto, también la reducción de los gastos de hardware y el aumento de la accesibilidad y la escalabilidad de estas (www.stackscale, 2021). Existen dos tipos de hipervisores:

- Hipervisores de tipo 1 o bare-metal, también conocidos como hipervisores nativos, se ejecutan directamente en el servidor. Los hipervisores bare-metal gestionan el sistema o sistemas operativos invitados. Algunos ejemplos de hipervisores bare-metal de código abierto y comerciales son:

- Hipervisores bare-metal de código abierto (KVM, Proxmox y Xen).
- Hipervisores bare-metal comerciales (Red Hat Enterprise Virtualization (RHEV), Citrix XenServer, Hyper-V y VMware ESXi).

Estos dos últimos tipos de hipervisores son los que se suelen desplegar para necesidades de computación de centros de datos. Por lo general, este tipo de hipervisores ofrecen un rendimiento mejor y más eficiente que los alojados (www.stackscale, 2021).

- Hipervisores de tipo 2 o hipervisores alojados, del inglés hosted hypervisors, se ejecutan como una capa de software por encima del sistema operativo de la host machine. Se usan para abstraer los sistemas operativos invitados del sistema operativo principal. Algunos ejemplos de hipervisores alojados de código abierto y comercial son:

- Hipervisores alojados de código abierto: QEMU y VirtualBox.
- Hipervisores alojados comerciales: Parallels Desktop, VMware Workstation Player y VMware Fusion (www.stackscale, 2021).

Al realizar la prueba sobre el equipamiento del Centro de Datos de Operaciones de ETECSA la opción de virtualización es la basada en hipervisor, y teniendo en cuenta que el hardware existente es propietario de Huawei (proveedor estratégico del operador) el hipervisor a utilizar será VMware EXSI 6.7 que es el recomendado por el proveedor y que le garantiza soporte técnico.

## Sistema operativo

El sistema operativo a instalar sobre el Hipervisor buscamos que sea Open Source por las ventajas de independencia que estos nos brindan, y el más utilizado es obviamente Linux, por lo que será el seleccionado como plataforma de instalación para la pizarra virtual que se utilizará.

Una de las preguntas habituales a la hora de elegir una compilación de Linux es cuál de ellas escoger. La respuesta a la pregunta admite tantas respuestas como interlocutores, con lo cual la conclusión final acaba siendo que la compilación a utilizar puede ser la que cada administrador prefiera.

De las compilaciones de Linux disponibles en la red (un valor bastante elevado por cierto), las más extendidas como servidores para instalar los servicios de pizarras virtuales son las siguientes:

- Debian Gnu/Linux (<http://www.debian.org>)
- Fedora Project (<http://fedora.redhat.com>)
- Suse Linux (<http://www.suse.org>)
- CentOS (<http://www.centos.org>)

De entre todas las anteriores tenemos a CentOS, basada en el código de Red Hat Enterprise Edition y que constituye una versión de Linux Enterprise totalmente gratuita y soportada por la propia comunidad de usuarios (al contrario que la versión Enterprise de Red Hat que ya no es una compilación de libre distribución, ni gratuita), este posee todas las características necesarias para el correcto funcionamiento de la pizarra virtual, por lo que será el sistema operativo que se utilizará en la prueba, específicamente en su versión CentOS 7.

Para el correcto funcionamiento de CentOS 7 se necesita al menos 512 MB de memoria y en el terminal de líneas de comando solo se ne-

cesita 120 MB. Adicionalmente se recomiendan 5 GB de memoria (o al menos 1GB). Para controlarlo en la interfaz de línea de comandos, que ya no está incluida como opción independiente en CentOS 7, la versión 6 demanda 392 MB y, en arquitecturas que no pertenecen a la familia x86, 1 GB de almacenamiento. Por defecto, la anteriormente mencionada versión 7 de la distribución de Linux utiliza 1 GB de RAM y 20 GB (o al menos 10 GB) de espacio en disco duro ([www.wireshark.org](http://www.wireshark.org) s/f) La configuración del CentOS 7 instalado para la prueba es de 12 GB de memoria RAM, 150 GB de capacidad de disco duro y 2 procesadores de CPU (teniendo en cuenta las características del Servidor del Centro de Datos).

## **Pizarra virtual**

Seleccionar una pizarra virtual (PBX) que utilice “software libre”, es una tarea difícil, sobre todo si se tiene en cuenta que existe un grupo elevado de programadores que trabajan de forma continua en desarrollar nuevas versiones de estas, por lo que se muestra un breve análisis de las principales para finalmente seleccionar la que se ajusta al escenario.

En la actualidad existe una gran competencia en el desarrollo de pizarras virtuales por parte de diferentes empresas, a continuación se muestran algunas de las que se pueden encontrar en el mercado y son catalogadas entre las más utilizadas en el ambiente empresarial ([www.yautalk.com](http://www.yautalk.com), 2020):

- Asterisk. Software VoIP gratuito y de código abierto patrocinado por Digium. Ofrece una combinación perfecta de funcionalidad PBX y funciones avanzadas de VoIP. Asterisk es utilizado por empresas, centros de llamadas, PYMES y gobiernos de todo el mundo para alimentar sus sistemas IP PBX, servidores de conferencias y puertas de enlace VoIP.
- Sipxcom. Software rico en características para VoIP preferido por las empresas debido a su arquitectura abierta SIP basada en estándares. Es altamente escalable y adecuado para entornos empresariales medianos y grandes.
- Linphone. Es un sistema VoIP de código abierto que se especializa en la mensajería instantánea y la realización de llamadas VoIP de voz/video que ayudan a las empresas a comunicarse sin problemas

con las personas a un bajo costo. Es compatible con la mayoría de las PBX y servidores SIP ya que sigue los estándares abiertos de la industria de las telecomunicaciones.

- **Ekiga.** Se conocía anteriormente como GnomeMeeting. Es una aplicación de VoIP, videoconferencia y mensajería instantánea de código abierto que admite calidad de sonido y video HD. Es compatible con software, hardware y proveedores de servicios que cumplen con los estándares SIP y H.323.
- **Jitsi.** Incluye múltiples proyectos de código abierto que le permiten crear y ejecutar soluciones de videoconferencia. Además, hay otros proyectos en la comunidad que ayudan a implementar funciones como audio, acceso telefónico, transmisión simultánea y grabación. Todas las herramientas proporcionadas por Jitsi son gratuitas, de código abierto y compatible con WebRTC.

La Tabla I muestra una comparación entre las PBX mencionadas, teniendo en cuenta un grupo de funciones básicas para trabajar en un ambiente empresarial que será para lo que se use este tipo de equipamiento en los escenarios de VoIP propuestos.

Software	Asterisk	sipXcom	Linphone	Ekiga	Jitsi
Mensajería	✓	✓	✓	✓	✓
Contestador Automático	✓	✗	✗	✓	✗
Sorporte de Video	✓	✓	✓	✓	✓
Grabación de Llamadas	✓	✓	✓	✓	✓
Identificador	✓	✓	✓	✓	✓
Conferencia	✓	✓	✓	✗	✓
Transferencias	✓	✓	✓	✓	✗
Música en espera	✓	✓	✗	✓	✗
Compartir Ficheros/pantalla	✗	✗	✓	✗	✗

Tabla I. Comparación entre PBX más utilizadas ([www.yautalk.com](http://www.yautalk.com), 2020)

Como se puede observar en la comparación, Asterisk es la que cumple con la mayoría de los servicios seleccionados lo cual brinda un criterio sólido para utilizarla en el escenario empresarial de la VoIP en ETECSA.

Asterisk se puede definir como una implementación de una pizarra virtual completa mediante software que puede instalarse directamente sobre Linux, BSD o Mac OSX, la misma proporciona tecnología VoIP mediante diversos protocolos y además puede conectarse con prácticamente cualquier equipo de telefonía basado en estándares, utilizando un hardware con requerimientos técnicos no muy exigentes. Algunas de sus características más interesantes incluyen servicios de buzón de voz con directorio de usuarios, llamadas en modo conferencia, contestador automático, cola de llamadas, llamada tripartita, identificación de llamada.

A sus características de requerimientos de hardware y manejo de protocolo SIP, se suma la elevada experticia de los especialistas que atienden el área de pizarras privadas en ETECSA lo que constituye un aspecto sumamente importante para aprovechar los recursos humanos que se dispone en casos de necesidad de soporte técnico.

## Terminales multimedia SIP

Un teléfono SIP basado en software (Terminal multimedia SIP o Softphone) es un programa que hace uso del micrófono y bocinas de la computadora, o del móvil, para hacer o recibir llamadas. La correcta selección de los Terminales Multimedia a utilizar es un punto en el que hay que tener mucho cuidado, pues este debe tener no solo las características necesarias para su correcto funcionamiento, sino que su desarrollo (actualizaciones) deben ser accesibles para los clientes en el momento de la comercialización del servicio ([www.goodfirms.co](http://www.goodfirms.co), 2022)

## Terminales fijos SIP

Para instalar en los terminales fijos se selecciona el 3CXPhone (Figura 2), el cual se encuentra entre los más utilizados para este tipo de terminales (instalación en Windows o Linux) y su descarga y actualización es libre de costo.

## Terminales móviles SIP

En los terminales móviles se utilizará el SIPDroid (Figura 3) que es un cliente VoIP disponible para dispositivos Android el cual uti-



Figura 2. Terminal multimedia 3CXPhone

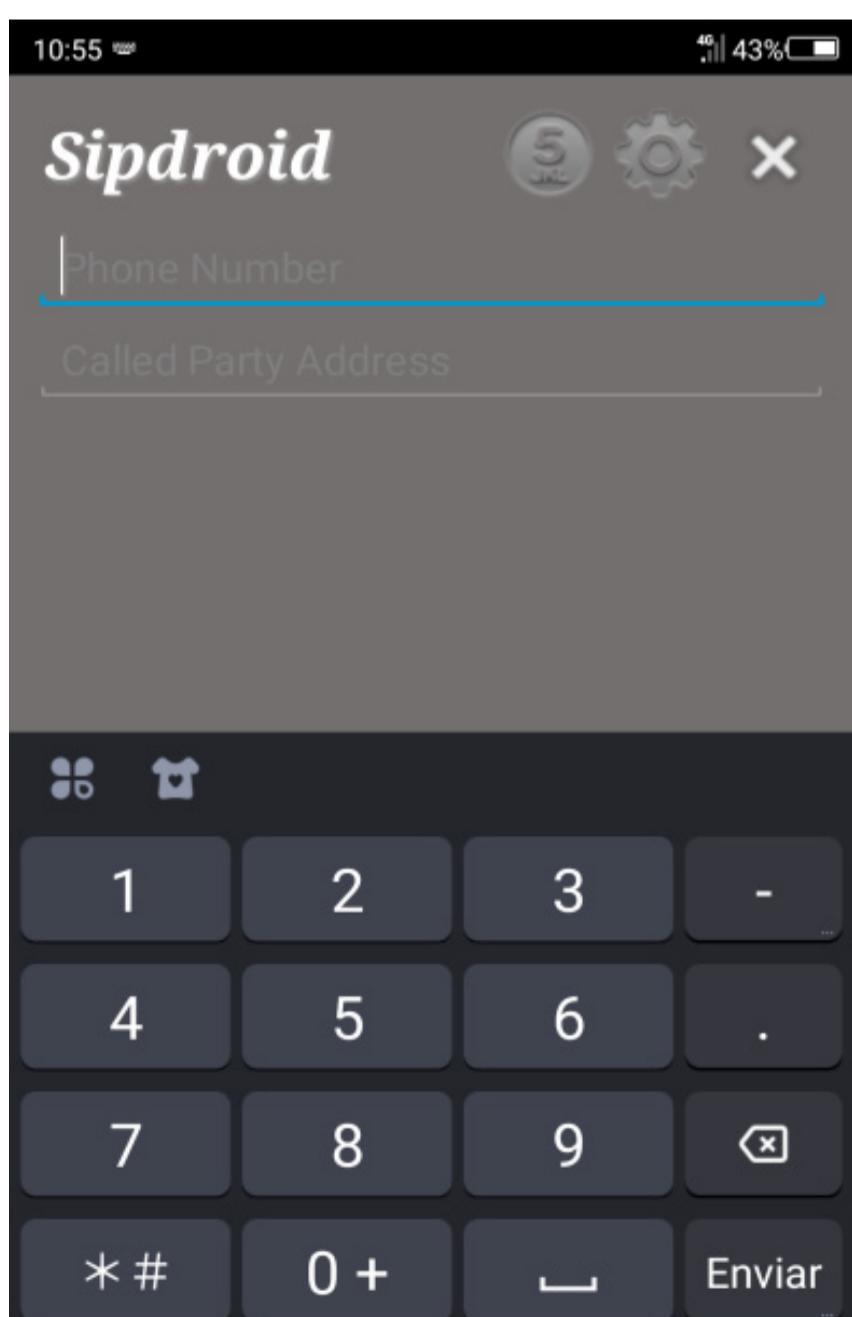


Figura. 3: Terminal multimedia Sipdroid

liza el protocolo SIP para la señalización. Es un software de código abierto, bajo licencia GPL, desarrollado completamente en Java (Android) y que brinda múltiples posibilidades para la comunicación.

En la opción “Ajustes” de SIP-Droid, el usuario puede configurar los parámetros más relevantes de la aplicación, entre estos se encuentra la creación de una cuenta SIP, calidad de audio/video y códecs lo que resulta útil para el desarrollo de las pruebas.

## Adaptador de terminales analógicos (ATA)

Un adaptador ATA es un dispositivo que transforma la telefonía analógica convencional en telefonía IP, este dispositivo permite utilizar el teléfono convencional para realizar llamadas a través de una red de datos IP. Estos dispositivos tienen funciones de Agente de Usuario (UA) para la señalización SIP, además disponen de un circuito electrónico, para que la información pueda ser transmitida a través de la red de datos, convirtiendo la información analógica del teléfono en digital utilizando un códec.

Un ATA toma generalmente la forma de una caja con un adaptador de corriente, un puerto Ethernet y uno o más puertos telefónicos RJ-11 donde los usuarios pueden conectar uno o más dispositivos telefónicos analógicos.

El Dispositivo de Acceso Integrado (IAD) se utiliza en las soluciones de telefonía IP para permitir que los usuarios analógicos tengan acceso a las redes IP. Estos implementan una evolución suave de voz analógica a VoIP. Los terminales analógicos heredados pueden usarse para minimizar los costos de construcción de la red en la etapa inicial.

## Resultados y discusión

### Pruebas de conectividad

Luego de ejecutadas la configuraciones necesarias en la pizarra se efectúan varias llamadas para probar el correcto funcionamiento, para esto se utiliza el Wireshark ([www.wireshark.org](http://www.wireshark.org), s/f) como software para monitorear a nivel de señalización. La figura 4 muestra el intercambio de mensajes al realizar una llamada interna a la pizarra (no se envía información al elemento de control a través del SBC).

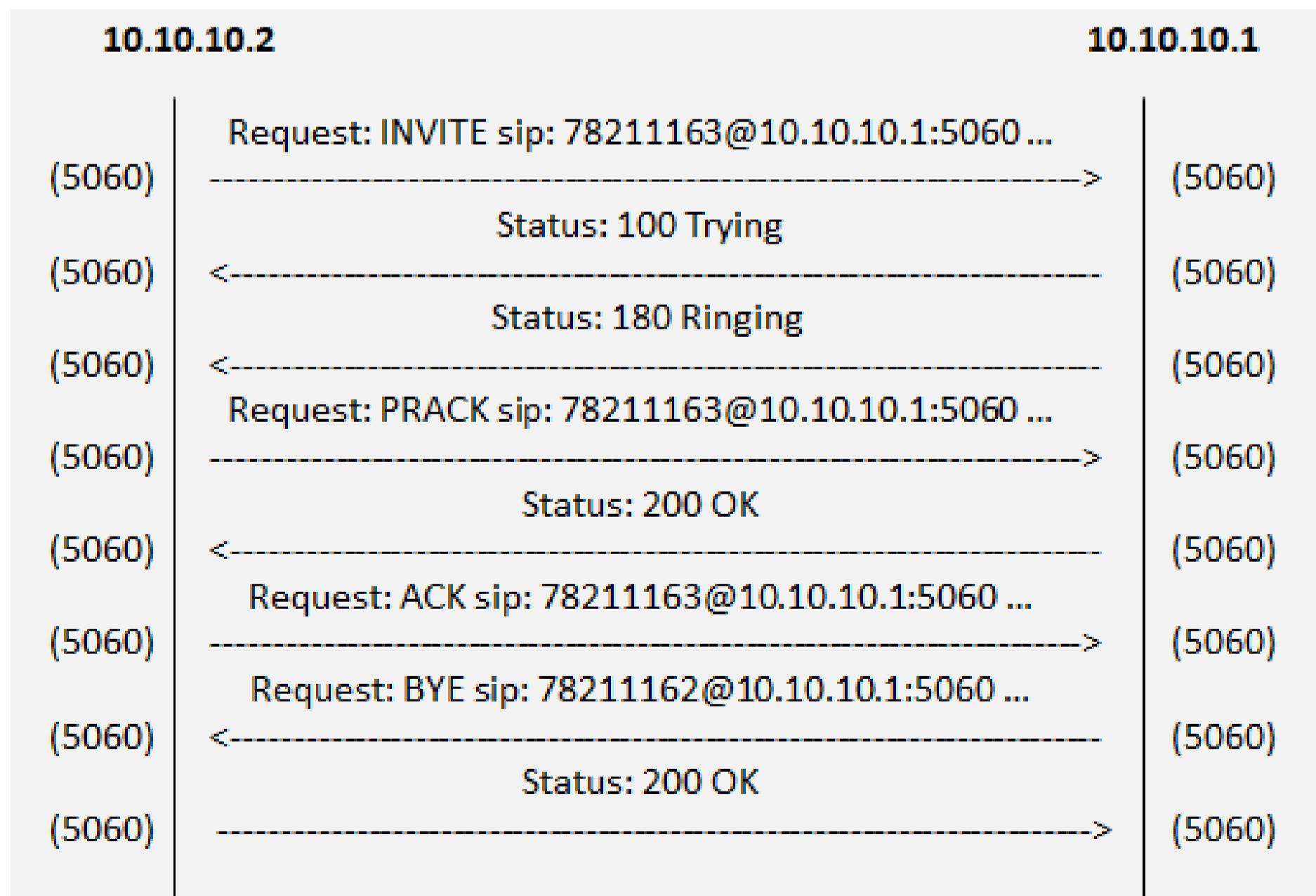


Figura 4. Llamada exitosa a través de la pizarra

Para efectuar una llamada externa a la pizarra se necesita una configuración en esta que garantice la entrada/salida de las llamadas, así como la correcta configuración del camino hacia el elemento de control de la red (Softswitch) a través del elemento de seguridad (SBC).

En el caso de este tipo de llamadas, la demostración del correcto funcionamiento es un poco más complicada debido a que en la misma se necesita de la pizarra para el proceso de registro del terminal, el SBC para lograr la seguridad y el Softswitch para permitir el acceso a la red. En la tabla 2 se muestran las direcciones IP de los elementos que participan en la comunicación, en la cual no se incluye el de la pizarra virtual pues en la configuración de la misma se define que se mantenga el IP del terminal multimedia y no el de esta (en este caso 10.10.10.1).

IP	ELEMENTO
10.10.10.2	TERMINAL MULTIMEDIA
10.10.10.3	SBC LADO ACCESO
10.10.20.3	SBC LADO CORE
10.10.20.1	SOFTSWITCH

**Tabla 2.** Direcciones IP de los elementos que participan en el trazado.

La demostración de la efectividad de la prueba a nivel de señalización se realizó con el software propio del SBC de Huawei debido a que este se encuentra en una posición intermedia en el escenario (la pizarra se conecta por el lado que mira al cliente o lado acceso y el Softswitch por el que mira a la red nacional o lado Core). La figura 5 muestra el flujo de mensajes establecidos.

## Pruebas del Servicio en el escenario propuesto

En una primera etapa se llevaron a cabo las pruebas de la pizarra instalada en el Centro de Datos de ETECSA pero con sus terminales en la red del cliente. La conexión entre esta y el elemento de control se realizó a través de un grupo de tronco SIP al Softswitch a través del SBC, la numeración utilizada es la 782111XX. La PABX tiene una interfaz que mira hacia la red de los clientes (interfaz\_red\_gestión) y otra hacia la red de telecomunicaciones (interfaz\_red\_servicio).

Source Address	Source Port	Destination Address	Destination Port	Message Interface Type	Message Type
10.10.10.2	5060	10.10.10.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	INVITE
10.10.10.3	5060	10.10.10.2	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	100 TRYING
10.10.20.3	5060	10.10.20.1	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	INVITE
10.10.20.1	5060	10.10.20.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	100 TRYING
10.10.20.1	5060	10.10.20.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	183 SESSION PROGRESS
10.10.10.2	5060	10.10.10.2	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	183 SESSION PROGRESS
10.10.10.2	5060	10.10.10.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	PRACK
10.10.20.3	5060	10.10.20.1	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	PRACK
10.10.20.1	5060	10.10.20.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	200 OK
10.10.10.3	5060	10.10.10.2	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	200 OK
10.10.20.1	5060	10.10.20.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	180 RINGING
10.10.10.1	5060	10.10.10.2	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	180 RINGING
10.10.10.2	5060	10.10.10.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	PRACK
10.10.20.3	5060	10.10.20.1	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	PRACK
10.10.20.1	5060	10.10.20.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	200 OK
10.10.10.3	5060	10.10.10.2	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	200 OK
10.10.10.2	5060	10.10.10.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	ACK
10.10.20.3	5060	10.10.20.1	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	ACK
10.10.10.2	5060	10.10.10.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	BYE
10.10.20.3	5060	10.10.20.1	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	BYE
10.10.20.1	5060	10.10.20.3	5060	>TRACE_SIPC_UP	200 OK
10.10.10.1	5060	10.10.10.2	5060	<TRACE_SIPC_DOWN	200 OK

Figura. 5. Llamada exitosa hacia la red nacional. Terminal conectado a la pizarra

Las pruebas realizadas con la central, de todas las facilidades que intervienen con el tráfico SIP fueron:

- Realizar llamadas de salida hacia la Red Pública.
- Realizar llamadas de entrada hacia la PBX.
- Con envío de todos los dígitos.
- Con envío de los dígitos correspondientes al número de la extensión.
- Verificar en ambos casos que se presente correctamente la identidad del número llamador (CLIP).
- Prueba del CLIP global y por extensiones en llamadas hacia la Red Pública.
- Realizar una llamada de salida y otra de entrada de forma simultánea.
- Realizar dos o más llamadas de entrada que sean respondidas por un servicio de la PBX (IVR). Transferidas posteriormente a una extensión en particular.

- Realizar dos o más llamadas de entrada que sean dirigidas a una extensión en particular (DID).
- Realizar llamadas al grupo de conferencia.
- Desvío de llamadas de entrada a un número externo, en llamada de no respuesta.
- Función grupos de timbrado.
- Utilizar la facilidad llamada en espera.

En todos los casos anteriores los resultados fueron satisfactorios por lo que se procedió a realizar llamadas a diferentes centrales del país teniendo en cuenta el escenario mostrado las cuales funcionaron de manera correcta:

- Sitio: Vedado NGN NOKIA, prueba realizada en entrada y salida.
- Sitio: Vedado NGN Huawei, prueba realizada en salida y entrada.
- Sitio: Vedado TDM Nokia, prueba realizada en entrada y salida.
- Red Móvil, prueba realizada en entrada y salida satisfactoriamente.
- Se probaron los servicios de la red inteligente.
- Se probaron los servicios especiales en función del origen de la llamada, las pruebas fueron satisfactorias.
- Se realizaron además llamadas a otros servicios conectados a enlaces R2, ISDN y servicios con otras categorías propias de la red ej. MLC y Prioritarios.

En una segunda etapa se realizaron un grupo de configuraciones de seguridad tales como:

- Aplicar autenticación de doble factor en la interfaz web
- Permitir solo SSH2 para las conexiones de consola
- No permitir las conexiones con usuario root
- Activar la funcionalidad fail2ban para bloquear conexiones indeseadas
- Activar el firewall
- Crear un usuario de solo lectura para las conexiones por consola

Se realizaron llamadas de video utilizando varios codecs con resultado correcto (hasta donde conocemos no es posible la multiconferencia de video).

La tercera etapa fue enfocada a la conexión de un Adaptador de terminales analógicos (dispositivo que transforma la telefonía analógica

convencional en telefonía IP) para permitir conectar teléfonos analógicos a la PABX como extensiones (Dispositivo de acceso integrado o IAD por sus siglas en inglés) en el cual se le realizaron las siguientes pruebas:

- Realizar llamadas de salida hacia la Red Pública.
- Realizar llamadas de entrada hacia la PABX.
  - Con envío de todos los dígitos.
  - Con envío de los dígitos correspondientes al número de la extensión.
- Verificar en ambos casos que se presente correctamente la identidad del número llamador (CLIP).
- Prueba del CLIP global y por extensiones en llamadas hacia la Red Pública.
- Realizar una llamada de salida y otra de entrada de forma simultánea.
- Realizar dos o más llamadas de entrada que sean respondidas por un servicio de la PABX (IVR). Transferidas posteriormente a una extensión en particular.
- Realizar dos o más llamadas de entrada que sean dirigidas a una extensión en particular (DID).
- Realizar llamadas al grupo de conferencia.
- Desvío de llamadas de entrada a una extensión, en llamada de no respuesta.
- Desvío de llamadas de entrada a una extensión, en llamada de ocupado.
- Función grupos de timbrado.
- Utilizar la facilidad llamada en espera.
- Restringir las posibilidades en salida de una extensión (similar al candado electrónico).

Adicionalmente se probó el servicio de hora exacta desde la extensión, donde marcando un código predefinido se accede a un anuncio que proporciona la hora exacta basándose en la hora del servidor Linux de base (servicio actualmente no comercial para el área de pizarras privadas).

## **Conclusiones**

Utilizar las ventajas de configurar una pizarra de VoIP en un entorno virtualizado, junto a un adaptador de terminales analógicos, para sustituir pizarras analógicas obsoletas y con señalización muy antigua nos ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

El escenario definido, así como las configuraciones realizadas en este, nos confirma que la PBX virtual de VoIP puede implementarse de manera segura, manteniendo los servicios ya existentes y brindando otros que pueden ser muy beneficiosos para los clientes.

Se establecieron configuraciones básicas para el hipervisor, pizarra virtual, SBC, Softswitch, Adaptador de terminales analógicos y terminales multimedia (fijo o móvil) que garantizaron el funcionamiento del servicio y que sientan bases para la futura implementación.

En el proceso de pruebas, se establecieron un conjunto de pasos y se colectaron un grupo de datos, que servirán como guía para oficializar un procedimiento de instalación del nuevo servicio de VoIP.

Todo lo anterior nos permite afirmar que técnicamente es viable la sustitución de pizarras analógicas antiguas y la implementación de las nuevas basadas en VoIP para diferentes clientes.

Teniendo igualmente en cuenta los resultados obtenidos, recomendamos darle continuidad a las pruebas centrándolas en la medición de los principales parámetros que validan una adecuada calidad de servicio, variando el ancho de banda del enlace y los diferentes codecs de audio.

## Referencias bibliográficas

- [1] Elena Limones, Virtualización: Qué es, para qué sirve y ventajas. <https://openwebinars.net/blog/virtualizacion-que-es-para-que-sirve-y-ventajas/>, Mayo 2021. [Accedido: 31-ene-2022].
- [2] Hipervisores: definición, tipos y soluciones de código abierto y comerciales. <https://www.stackscale.com/es/blog/hipervisores/>, Noviembre 2021. [Accedido: 31-ene-2022].
- [3] Top 5 de los mejores softphones para la telefonía IP virtual. <https://www.yautalk.com/top-5-de-los-mejores-softphones-para-la-telefonia-ip-virtual/>, Diciembre 2020. [Accedido: 31-ene-2022].
- [4] The 10 Best Free and Open Source VoIP Software. <https://www.goodfirms.co/blog/the-10-best-free-and-open-source-voip-software>, 2022. [Accedido: 31-ene-2022].
- [5] AG11CVPB2 Huawei eSpace IAD Series Access Devices Unified Communications Gateway, <https://www.router-switch.com/ag11cvpb2-p-22962.html>.
- [6] Wireshark Foundation, «Wireshark» [En línea]. Available: <https://www.wireshark.org/>.

