

UNSAM

UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Estudio y diseño de una red de telefonía IP para el Centro Universitario de Imágenes Médicas (CEUNIM)

PROYECTO FINAL INTEGRADOR
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

Autor:

Julián Federico Mascia
juli.mascia@gmail.com

Tutor:

Ing. Carlos Canal
carlos.canal@unsam.edu.ar

Buenos Aires, Febrero de 2017

Índice de contenidos

1.	Introducción	3
2.	Teoría y Tecnologías	8
2.1	Fundamentos de Telefonía	8
2.1.1	Redes de telefonía	8
2.1.2	Red PSTN	9
2.1.1	Digitalización de señales.....	12
2.2	Protocolos	13
2.2.1	IP (Internet Protocol).....	13
2.2.2	TCP (Transport Control Protocol)	15
2.2.3	UDP (User Datagram Protocol)	16
2.2.4	RTP (Real Time Protocol).....	16
2.2.5	RTCP (Real Time Control Protocol).....	17
2.3	Señalización.....	18
2.3.1	SIP (Session Initiation Protocol).....	18
2.3.2	H.323	20
2.3.3	IAX (Inter Asterisk Exchange Protocol).....	24
2.4	Calidad de Servicio.....	24
2.4.1	Jitter (Variación del retardo)	25
2.4.2	Retardo (Delay)	26
2.4.3	Pérdida de Paquetes.....	28
2.5	Codecs.....	28
2.5.1	G.711.....	29
2.5.2	G.729.....	29
2.5.3	Otros Codecs	30
2.5.4	Comparación de codecs y ancho de banda	31
2.6	Software y Soluciones.....	33
2.6.1	Open Source.....	33
2.6.2	Propietarias	36
2.6.3	Comparación.....	36
2.7	Hardware.....	38
2.8	Políticas de Seguridad	43
2.8.1	DoS (Denial of Service).....	43
2.8.2	SIP Flooding.....	43
2.8.3	Sniffing.....	43
2.8.4	Man in the middle.....	43

2.8.5	Malware.....	43
2.8.6	Posibles soluciones	44
3.	Proyecto.....	45
3.1	Caso de estudio.....	45
3.2	Requerimientos del cliente.....	47
3.3	Diseño de la solución	48
3.3.1	Tráfico Externo.....	48
3.3.2	Codecs y tráfico interno	51
3.3.3	Protocolo de señalización.....	52
3.3.4	Software	52
3.3.5	Hardware	55
3.3.6	Requerimientos de la red	58
3.3.7	Direccionamiento IP y plan de numeración	59
3.3.8	Funcionalidades adicionales	62
3.3.9	Planos edilicios y ubicaciones.....	64
3.4	Prueba de funcionamiento.....	70
3.5	Esquema de la solución.....	76
4.	Equipos y Costos.....	77
4.1	Selección de Software.....	77
4.2	Selección de Hardware.....	79
4.2.1	Servidor	79
4.2.2	Teléfonos IP	84
4.2.3	Teléfonos IP para conferencias	86
4.2.4	Placas de Interfaz y Gateways.....	88
4.3	Costos de la Solución.....	93
5.	Conclusiones Finales	95
6.	Glosario	102
7.	Bibliografía.....	106
8.	Anexo I: Cotizaciones	108
8.1	Empresa Freetech	108
8.2	Empresa Bitsense	109
8.3	Empresa Handcell	110
8.4	Empresa ATN	111
8.5	Empresa Provetel	112
8.6	Empresa Telintec.....	112
8.7	Empresa Signal.....	115
9.	Anexo II: Datasheets.....	116

1. INTRODUCCIÓN

La realización del presente proyecto tiene como objetivo principal el estudio y diseño de una red de telefonía IP a implementarse el nuevo Centro Universitario de Imágenes Médicas, actualmente construyéndose en el predio de la Universidad Nacional de San Martín. Se pretende dar soluciones a los requerimientos de comunicación interna y externa del edificio, ofreciendo una alternativa innovadora para brindar un servicio de calidad al usuario final a un costo óptimo.

La construcción y el equipamiento del CEUNIM surgen de un acuerdo de colaboración entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). El centro médico dependerá del área de Física Médica de la Escuela de Ciencia y Tecnología (ECyT) y formará parte del Plan Nacional de Medicina Nuclear “Nucleovida”. Su meta principal es ser el más destacado en Latinoamérica por sus prestaciones y equipamiento de última tecnología empleado para diagnóstico y seguimiento de pacientes con cáncer. El mismo contará con una superficie de 1000 m² y estará desplegado en cuatro plantas. En el subsuelo estará ubicado el ciclotrón, los laboratorios de radiofarmacia y control de calidad mientras que en la planta baja funcionarán la administración, la sala de computación, el salón de conferencias y la central de procesamiento de imágenes. En el primer piso se instalará un equipo PET/CT (Tomógrafo por Emisión de Positrones y Tomografía Computada) y en el segundo piso funcionará un resonador magnético. Éste último, será el primero de su estilo en la Argentina y el PET/CT el primero en América Latina. Estos equipos llegarán al país a mediados de 2017.

El documento está organizado en cinco capítulos incluyendo la presente introducción, un capítulo dedicado a estudiar la teoría y tecnologías implicadas, un capítulo donde se realiza el análisis y diseño de la solución en base a los requerimientos del cliente, un capítulo dedicado a selección de equipamiento y costos asociados y un capítulo final donde se comparten las conclusiones alcanzadas a lo largo del proyecto analizando la viabilidad del mismo.

En el Capítulo 2, se estudiarán las tecnologías necesarias para el desarrollo del proyecto, introduciendo los conceptos básicos de las redes telefónicas y presentando las diferencias principales entre las redes de conmutación de circuitos y las de paquetes, sobre las que haremos hincapié. Como se verá más adelante, las redes de telefonía tradicionales funcionan en base a conmutación de circuitos, esto significa que se establece un enlace dedicado entre los puntos antes que los usuarios se comuniquen y una vez establecido no puede ser utilizado por otros usuarios hasta finalizar la conexión. Las redes basadas en conmutación de paquetes, como las redes IP, permiten transmitir en simultáneo diferentes flujos de información por un mismo medio, haciendo un uso más eficiente del ancho de banda disponible. Esto permite un importante ahorro, dado que se hace uso de la misma red de datos para brindar distintos servicios y no es necesario implementar un cableado independiente dedicado a telefonía. Gracias a esta integración, se logra administrar la infraestructura de red más cómoda y sencillamente dando origen concepto de convergencia. Se presentará la arquitectura de la red de telefonía

pública conmutada (PSTN), su crecimiento y evolución a causa del gran número de usuarios y el alto tráfico generado en los últimos años. Hablaremos de centrales telefónicas, topologías de red y el concepto de jerarquía, indicando que es necesario agrupar las centrales por áreas geográficas, haciéndolas depender de varias centrales interconectadas entre sí por razones de seguridad y para asegurar el establecimiento de rutas alternativas entre usuarios ante fallas del servicio.

Se analizará el proceso necesario para poder transmitir la voz analógica en una red de paquetes. Veremos que el primer paso consiste en realizar un muestreo de la señal, seguido de una cuantificación y una codificación. Estudiaremos las características de IP, protocolo de capa de red no orientado a la conexión, sabiendo que la capa de red provee el direccionamiento lógico para establecer una ruta entre dos o varios terminales pertenecientes a distintas redes haciendo uso de distintos protocolos de ruteo. También se presentarán los principales protocolos de transporte y analizaremos por qué se prefiere evitar la implementación de mecanismos tales como números de secuencia, acuses de recibo y reenvío de paquetes al trabajar con señales en tiempo real, donde los retardos afectan a las comunicaciones. Se tratarán también los protocolos de capa de aplicación diseñados exclusivamente para transmitir dichas señales y obtener estadísticas de tráfico.

Se estudiarán los protocolos de señalización más utilizados en telefonía IP, enumerando sus principales características. Veremos que son muy importantes a la hora de establecer, administrar y finalizar una llamada. Para comprender su funcionamiento, se analizarán detalladamente los mensajes intercambiados durante todas las fases de la misma. Se presentará el concepto de QoS (Calidad de Servicio), definida como un conjunto de requisitos que la red debe cumplir para asegurar un nivel de servicio adecuado al transmitir los datos teniendo en cuenta que el tráfico de voz es muy sensible al retardo, variación del retardo y pérdida de paquetes ocasionando palabras entrecortadas, sonidos que faltan, eco, o pausas excesivamente largas en las comunicaciones.

La telefonía IP surgió a mediados de la década del 90 al realizarse la primera llamada telefónica entre dos computadoras mediante una aplicación gratuita. No se contaba con mecanismos de QoS dado que el protocolo de Internet, por naturaleza es de tipo best effort, esto significa que hace su mayor esfuerzo para entregar los paquetes, pero no garantiza que lleguen a destino. Los paquetes enviados pueden tomar rutas diferentes para llegar al receptor, haciendo que lleguen desordenados, fuera de tiempo o se pierdan, por este motivo deben implementarse técnicas para garantizar QoS comenzando por un adecuado dimensionamiento de la red.

Hablaremos de los codecs utilizados para digitalizar y comprimir las señales de voz. Veremos que se basan en modelos matemáticos que aprovechan la capacidad del cerebro humano para formar una impresión a partir de información incompleta, donde las muestras son comprimidas y fraccionadas en paquetes para ser transmitidas. Se presentarán las características de los codecs más populares como G.711, G.729, G.726, G.728, G.723.1, Speex, ILBC y GSM, para finalmente realizar una tabla comparativa analizando el

ancho de banda requerido y la calidad de audio de cada uno, entre otros parámetros.

La telefonía IP constituye un servicio más dentro de una red LAN y cuenta con varias ventajas, entre ellas permite que los usuarios se comuniquen sin limitaciones, reduciendo los puntos de falla al administrar una única red. Es posible ofrecer niveles de QoS similares a los que brinda la red de telefonía tradicional y ofrece servicios de valor agregado como correo de voz, mensajería instantánea, fax, música en espera y videoconferencias, entre otras. Facilita la movilidad de los usuarios, dado que pueden disponer de su interno en cualquier parte del mundo si se cuenta con una conexión a internet. Veremos que hay distintas alternativas a la hora de implementar una solución VoIP, se analizarán las soluciones open source y las propietarias, presentando las ventajas que hacen atractiva la elección de soluciones basadas en software libre. Se hará hincapié en Asterisk, un software de licencia libre que actúa bajo Linux y fue desarrollado para cumplir funciones de central telefónica. En los últimos años, muchas empresas a nivel mundial han decidido migrar hacia esta plataforma dado que cumple con las mismas características que las centrales telefónicas desarrolladas por las grandes empresas de telefonía sin pagar cargos adicionales por licencias de uso. Además, se fabrica hardware compatible con Asterisk para lograr la conexión con la red pública de telefonía, impulsando aún más su crecimiento.

Distribuciones como Asterisk, incluyen características que anteriormente solo estaban disponibles en los costosos sistemas propietarios. Utilizando la base de este desarrollo, se crearon otras distribuciones que ofrecen un entorno gráfico intuitivo diseñado para que cualquier usuario con conocimientos básicos pueda administrar la central telefónica, dado que Asterisk requiere habilidades de programación avanzadas. Todas las alternativas permiten gestionar llamadas telefónicas internas en una empresa, y compartir las líneas de acceso a la red de telefonía pública entre varios usuarios, permitiendo que estos realicen y reciban llamadas desde y hacia el exterior.

Veremos que se requiere cierto hardware para la interconexión con la red PTSN, por ello se presentarán las placas de interfaz y gateways, dispositivos que permiten conectar líneas analógicas, teléfonos analógicos, proveedores de servicios VoIP, troncales digitales y líneas móviles a la central telefónica. También presentaremos los sofphones, que no son más que un teléfono en versión software con la capacidad de realizar llamadas de voz y video a través de una computadora o dispositivo donde el mismo se encuentre instalado. VoIP ha crecido considerablemente, siendo hoy una de las alternativas utilizadas como solución de telefonía en muchas empresas debido al ahorro en llamadas e infraestructura. Debido a este gran crecimiento, las centrales telefónicas deben contar con políticas de seguridad para impedir que cualquier hacker con intenciones maliciosas pueda explotar el sistema en beneficio propio, por lo tanto, como cierre del Capítulo se presentarán a modo informativo los tipos de ataques y las recomendaciones en materia de seguridad necesarias para reducir la probabilidad de convertirse en un blanco.

En el Capítulo 3, se presentará el caso de estudio y los requerimientos del cliente para el diseño del proyecto. Para definir dichos requerimientos, se

llevarán a cabo reuniones con los interesados con el fin de realizar un estudio de necesidades y problemáticas a tener en cuenta. Se plantearán las exigencias y en base a ellas, se comenzará a diseñar la solución. Para realizar el dimensionamiento de la red, será necesario calcular el ancho de banda requerido para tráfico interno, el cálculo de líneas telefónicas para tráfico hacia el exterior, seleccionar del códec más adecuado para la transmisión sobre la red de datos y definir el protocolo de señalización a utilizar. Adicionalmente, se analizarán las distintas alternativas para llevar a cabo el proyecto en lo que respecta a hardware de comunicaciones (servidores, placas de interfaz, gateways y teléfonos). Veremos que a la hora de implementar una solución VoIP deben tenerse en cuenta algunas recomendaciones para garantizar el correcto funcionamiento de la solución dado que la velocidad y el ancho de banda que proporcione la red de datos estarán estrechamente relacionados con el rendimiento de la misma.

Se definirá un plan de numeración, permitiendo que los usuarios se comuniquen discando códigos para cursar las llamadas y facilitar el uso del servicio. Se configurará el sistema utilizando rutas que permitirán definir si se trata de una llamada local, larga distancia nacional, celulares, emergencia o internacional y cursarla por un enlace determinado. También se definirán distintas políticas de llamadas permitiendo realizar un bloqueo selectivo de llamadas a ciertos destinos a criterio del cliente. Se propondrá un esquema de encaminamiento de llamadas utilizando un IVR (Interactive Voice Response). Cuando la central telefónica reciba una llamada externa será reproducido un menú de opciones con un mensaje de bienvenida previamente configurado dado que la mayoría de las llamadas entrantes estarán relacionadas con pacientes que requieran información sobre los estudios médicos que se realizan en el CEUNIM o bien soliciten turnos. Se presentarán algunas de las funcionalidades adicionales a configurar, tales como buzón de voz, salas de conferencias, cola de llamadas y un mapa de extensiones concordante con el rango de numeración asignado por la empresa proveedora del servicio telefónico.

Más adelante, se definirán las ubicaciones de los puestos de trabajo en cada planta del edificio en base a los planos edilicios. Por último se verificará el funcionamiento del software de comunicaciones unificadas seleccionado, realizando una llamada de voz entre dos internos previamente configurados. Para terminar, se mostrará un esquema a priori de la solución dando lugar a la definición del equipamiento necesario para la implementación.

En el Capítulo 4 se realizará una selección del equipamiento requerido presentando sus costos asociados. En cuanto al software, se presentarán las cuatro distribuciones más populares que utilizan el software Asterisk como base para montar el resto de la experiencia para el usuario y en base a una comparación utilizando tablas de promedios ponderados se seleccionará la alternativa que mejor se adecue a los requerimientos del cliente. Las soluciones basadas en Asterisk que se presentarán incorporan diversas funcionalidades sin limitaciones en cuanto a cantidad de usuarios. Veremos que el software deberá ser montado en un servidor de gama media y deberá adquirirse una o varias placas de interfaz para interconectarse con la red

PSTN. Será necesario contar con redundancia a nivel hardware para evitar posibles fallas y caídas del servicio. Se estudiarán las alternativas existentes en el mercado teniendo en cuenta que existe una probabilidad de crecimiento a nivel usuarios del CEUNIM. Para realizar la selección, se presentará una tabla comparativa entre los modelos de servidores desarrollados por las empresas líderes, enumerando sus características principales, garantía del fabricante y precio de mercado, entre otros parámetros.

Al igual que el servidor, la compra de los teléfonos IP probablemente sea uno de los gastos que más impacto tendrán en el presupuesto final, para ello se consultarán varios proveedores en Argentina, ya que es importante seleccionar un teléfono que tenga un distribuidor autorizado en el país por cuestiones de garantía y principalmente porque la operación será realizada mediante una licitación pública. Se presentará una tabla comparativa, teniendo en cuenta aspectos referentes a la calidad de construcción y materiales, calidad de audio, diseño, funcionalidades y precio de mercado para seleccionar un equipo que cumpla con los requerimientos del cliente a un costo conveniente. Adicionalmente, propondremos contar con equipos de conferencias a instalarse en las salas del CEUNIM. Estos equipos ofrecen una excelente calidad de audio a todos los participantes y son muy utilizados en salas de reuniones de empresas, comúnmente se ubican en el centro de la mesa y permiten establecer conversaciones con múltiples participantes. A diferencia de un teléfono IP convencional cuentan con varios micrófonos para poder capturar el audio y altavoces de gran potencia que permiten escuchar claramente al orador.

Más adelante, se analizarán las alternativas existentes para interconectar la central telefónica con la red PSTN y se realizará una comparación de las soluciones basadas en gateways y placas de interfaz en lo que respecta a prestaciones, conectividad, codecs soportados, protocolos de señalización y precio de mercado. Finalmente, se presentará una tabla con el costo final del equipamiento necesario para implementar la solución en base a cotizaciones elaboradas por las empresas consultadas. Dichas cotizaciones y los datos de contacto de cada empresa podrán encontrarse en el **Anexo I: Cotizaciones** al final del documento. Por último, se mostrará un esquema completo de la solución indicando el equipamiento propuesto.

En el Capítulo 5 se presentarán las conclusiones alcanzadas a lo largo del desarrollo del proyecto, analizando la viabilidad del mismo en base a las decisiones tomadas a partir del estudio de las tecnologías empleadas y su aplicación. Al final del documento se incluye un glosario de siglas y acrónimos utilizados junto con la bibliografía consultada.

2. TEORÍA Y TECNOLOGÍAS

En el presente capítulo se estudiarán las tecnologías necesarias para el desarrollo del proyecto. Se introducirán los conceptos básicos sobre redes telefónicas, los protocolos necesarios para el transporte de señales de tiempo real así como también los protocolos de señalización más populares en VoIP, analizando cómo afecta el retardo, la variación del retardo y la pérdida de paquetes al querer garantizar calidad de servicio en la red. Se presentarán los códecs más utilizados presentando ventajas y desventajas de cada uno. Se introducirán las soluciones posibles a la hora de implementar una central telefónica y el hardware necesario para su interconexión con la red de telefonía pública. Por último se analizan los mecanismos y políticas de seguridad a tener en cuenta al implementar una red VoIP.

2.1 FUNDAMENTOS DE TELEFONÍA

2.1.1 Redes de telefonía

En el mundo de la telefonía existen dos tipos de redes, las orientadas a conmutación de circuitos y las de paquetes. En las de conmutación de circuitos se establece un circuito dedicado entre los puntos antes que los usuarios se comuniquen y una vez establecido no puede ser utilizado por otros usuarios hasta finalizar la conexión. Al necesitarse un circuito dedicado para cada abonado los costos asociados se incrementan. En cambio, las redes de conmutación de paquetes permiten transmitir en simultáneo diferentes flujos de información por un mismo medio optimizando recursos. El tráfico de cada flujo de información se divide en paquetes que se envían intercaladamente, los mismos se agrupan nuevamente en destino para obtener el mensaje original. Un ejemplo son las redes IP, donde a diferencia de las redes orientadas a circuitos, el ancho de banda es variable, ya que depende del tráfico de la red en un momento dado. Cada paquete de un mismo flujo de información no necesariamente sigue la misma ruta en la red por lo tanto los paquetes que originalmente fueron generados en secuencia pueden llegar desordenados a destino. Estos factores son muy importantes cuando se trabaja con señales de tiempo real ya que afectan la calidad de la llamada. La creciente demanda de usuarios hace que sea imposible tener permanentemente enlazados a todos los usuarios entre sí, por lo tanto es necesario contar con centrales telefónicas que permitan establecer enlaces de comunicaciones solamente durante el tiempo que éstas duren, logrando mayor eficiencia. Si se utilizara una estructura de red en malla (Ver **Figura 1**) donde cada usuario N se conecta con el resto mediante un enlace físico, se necesitarían:

$$N \left(\frac{N-1}{2} \right) \text{ enlaces}$$

Tomando como ejemplo una red con cuatro abonados, se necesitan seis enlaces. Si ahora utilizamos una estructura en estrella, tomando como punto central la central telefónica, se necesitarían solamente cuatro enlaces, mejorando la eficiencia. El ahorro se incrementa aún más al aumentar la cantidad de abonados.

Las redes en malla se utilizan para altos niveles de tráfico y distancias pequeñas, mientras que las redes en estrella para bajos niveles de tráfico y grandes distancias, como en la mayoría de los casos.

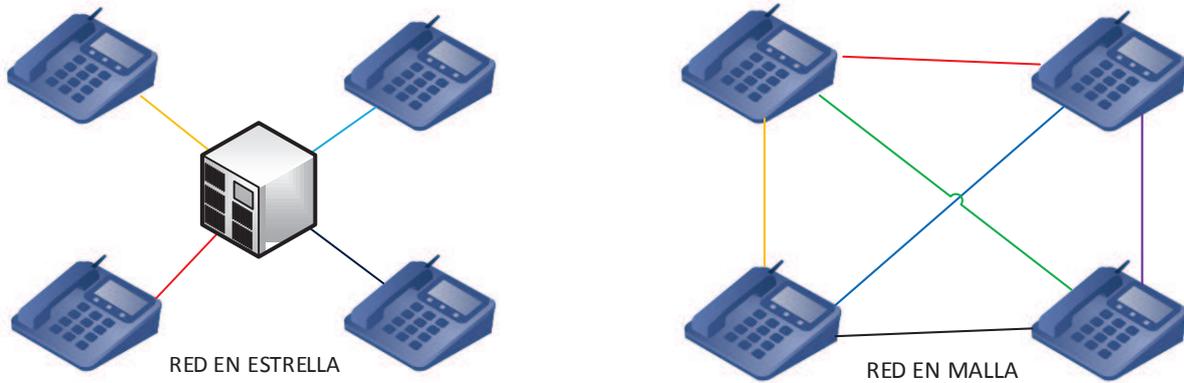


Figura 1: Topologías de red.

2.1.2 Red PSTN

La red telefónica pública conmutada o PSTN (Public Switched Telephone Network) es una red de conmutación de circuitos optimizada para comunicaciones de voz en tiempo real. Está compuesta por centrales de conmutación, abonados y troncales de interconexión. Su arquitectura jerárquica se muestra en la **Figura 2**.

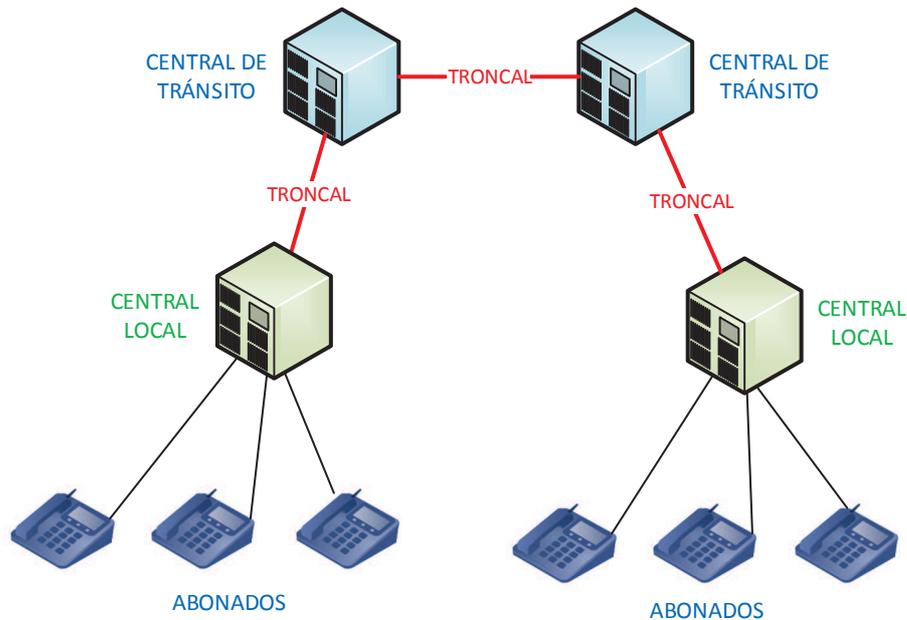


Figura 2: Arquitectura de la red PSTN

El gran número de usuarios y el alto tráfico generado hace que sea necesario agrupar las centrales por áreas geográficas y hacerlas depender de varias centrales de conmutación interconectadas entre sí. Dado que el número máximo de usuarios que una central admite es limitado dependiendo de su categoría, es necesario, una vez que éste se supera, contar con otras centrales de conmutación para atenderlos. Cuando el número de estas centrales es alto, se necesitan a su vez otras de mayor nivel, para gobernar la comunicación entre ellas, como ser las centrales primarias, zonales y regionales (Ver **Figura 3**). Cada central depende solamente de otra de nivel superior, aunque se tiende a conectar a más de una por razones de seguridad, asegurándose así el establecimiento de rutas alternativas entre usuarios ante fallas del servicio telefónico. Al diseñar una red de telefonía se pretende conseguir el máximo ahorro en equipos y medios de transmisión manteniendo una calidad de servicio aceptable. El diseño se realiza teniendo en cuenta que el número de llamadas simultáneas es menor que el de abonados, existiendo una probabilidad pequeña, de que al querer comunicarse, el sistema esté ocupado y haya que esperar cierto tiempo hasta que sea posible. El conocimiento de la tasa media de arribo de llamadas y el tiempo medio de ocupación por llamada son factores a tener en consideración para el dimensionamiento de la red. En la práctica, una medida de intensidad tráfico corresponde al tiempo que es utilizada la red durante un periodo de observación predeterminado y se expresa en Erlang [E] en honor al ingeniero danés pionero en la teoría de colas. 1 Erlang corresponde a la utilización de una línea telefónica durante una hora. Las centrales telefónicas locales, realizan la selección del abonado y cursan el tráfico urbano mientras que las de tránsito interconectan las plantas locales. Las centrales primarias interconectan las centrales de tránsito y realizan tareas de tarificación. Las zonales permiten gestionar el tráfico de larga distancia nacional y las regionales el tráfico internacional.

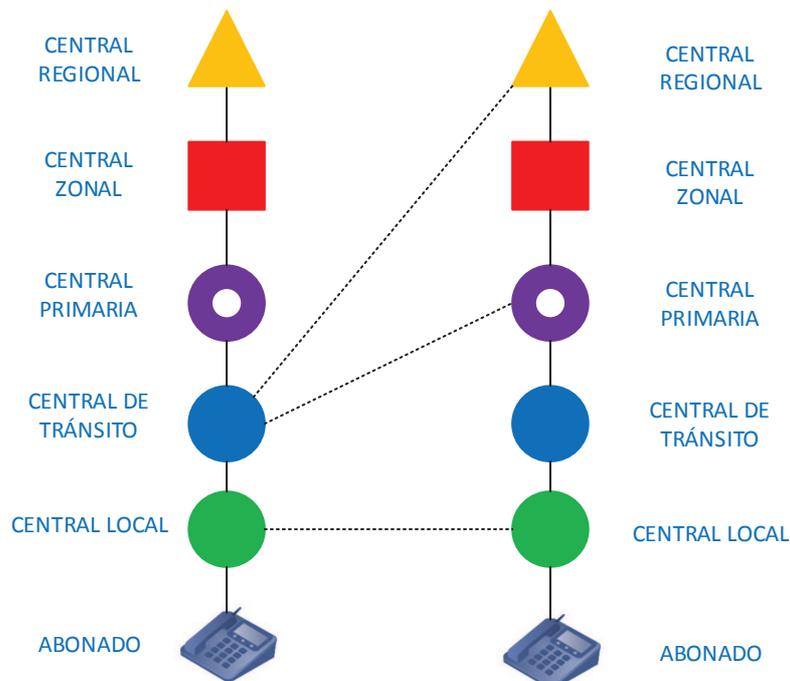


Figura 3: Jerarquía de centrales telefónicas en red PSTN

La red PSTN tiene cobertura nacional, se interconecta con las redes móviles y el costo asociado al usuario por la ocupación del circuito varía en función de la duración de la conexión y la distancia entre los extremos. Las centrales de conmutación se interconectan por medio de troncales que transportan señales digitales sincronizadas. El medio de transmisión entre el equipo de abonado y la central local, conocido como última milla, es un par de cobre en la mayoría de los casos, como se observa en la **Figura 4**.

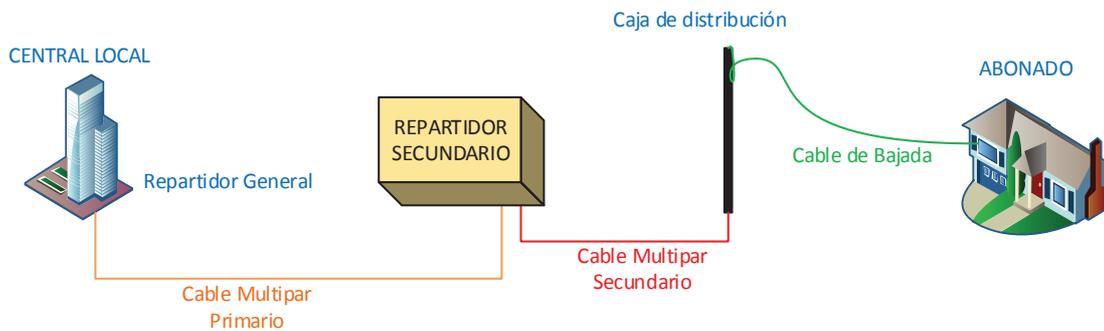


Figura 4: Interconexión del abonado con central telefónica local utilizando par de cobre.

Esta red está evolucionando hacia una red digital inteligente que posee dos niveles, centrales locales y centrales de tránsito gobernadas por el sistema de Señalización por Canal Común N° 7. SS7 es un estándar global para las telecomunicaciones definido por ITU (International Telecommunication Union). La norma define los procedimientos y protocolos por los que los elementos de red en la PSTN intercambian información en una red de señalización digital para efectuar el establecimiento de llamada, el encaminamiento y control de la misma.

La red de acceso partiendo desde el par de cobre también ha evolucionado con la incorporación de tecnologías xDSL (Digital Subscriber Line) hasta la Fibra Óptica (FTTx), como se observa en el **Figura 5**. Esta red se denomina NGN (Next Generation Network) definida por la ITU en la recomendación Y.2001 como una red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios. Soporta movilidad generalizada, que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios.

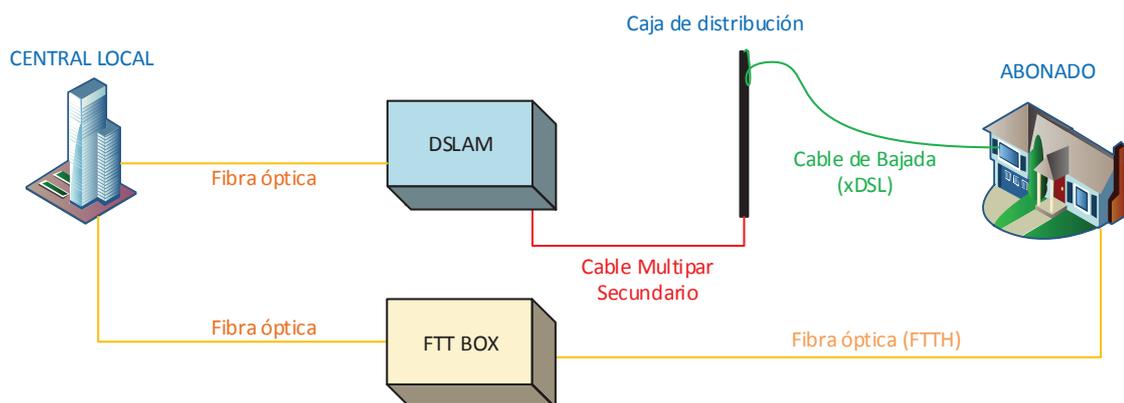


Figura 5: Interconexión del abonado con central telefónica local utilizando tecnologías xDSL y FTTH.

2.1.1 Digitalización de señales

Las cuerdas vocales modulan la voz humana en un espectro de frecuencias comprendido entre 15 Hz y 20 KHz. Las frecuencias superiores e inferiores no pueden ser captadas por el oído humano. Por lo tanto para transmitir voz inteligible no es necesario transmitir todas las frecuencias sino un rango mucho menor, facilitando su transmisión. En telefonía solo se transmite un rango aproximado de 300 Hz a 4 KHz. Para poder transmitir la voz analógica en una red digital es necesario realizar el proceso de digitalización, aprovechando que las señales digitales pueden ser regeneradas en el receptor. Al trabajar con señales analógicas, los valores de tensión pueden mantenerse con un valor constante, o pueden variar en una escala que va de 0 V, hasta el valor máximo que tenga fijado pasando por valores intermedios, mientras que en las señales digitales la variación ocurre de forma discreta, a intervalos de tiempo determinados.

Para convertir una señal analógica en digital, el primer paso consiste en realizar un muestreo tomando medidas de tensiones en diferentes puntos de la señal de voz. Durante el proceso de muestreo se asignan valores numéricos equivalentes a la tensión existente en diferentes puntos de la señal. A mayor cantidad de muestras tomadas, mayor calidad tendrá la señal digital resultante.

Para determinar cuántas muestras de la señal como mínimo hay que tomar para luego poder reconstruir la misma sin pérdidas de información se utiliza el Teorema de Nyquist. El teorema enuncia que la frecuencia de muestreo mínima f_m requerida para realizar un muestreo de calidad, debe ser igual al doble del ancho de banda BW de la señal analógica que se pretenda digitalizar. Una vez realizado el muestreo, el siguiente paso es la cuantificación, donde los valores continuos de la señal se convierten en series de valores numéricos discretos correspondientes a los diferentes niveles o variaciones de voltaje que contiene la señal analógica original. Los valores tensión se representan numéricamente por medio de códigos permitiendo asignarle valores equivalentes. El proceso completo se muestra en la **Figura 6**.

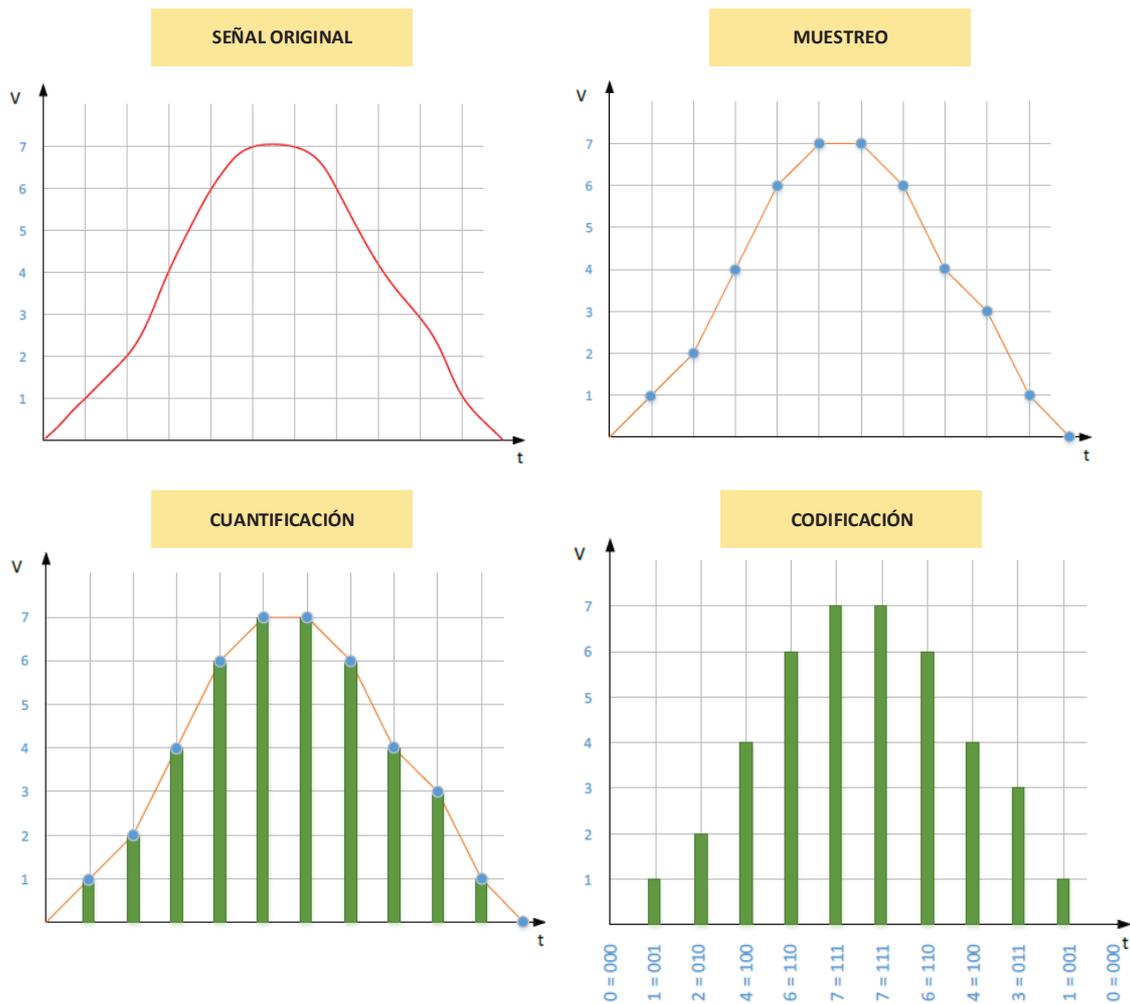


Figura 6: Digitalización de una señal analógica.

2.2 PROTOCOLOS

2.2.1 IP (Internet Protocol)

Es un protocolo de capa de red no orientado a la conexión, esto significa que no cuenta con mecanismos de control de flujo, numeración de paquetes y acuses de recibo. Los protocolos de capa de transporte, como TCP (Transport Control Protocol) se encargan de llevar a cabo estas tareas. La capa de red provee el direccionamiento lógico para establecer una ruta entre dos o varios terminales pertenecientes a distintas redes. Para ello, hace uso de distintos protocolos de ruteo. Los más utilizados son EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), RIP (Routing Information Protocol) y BGP (Border Gateway Protocol) entre otros. Cada usuario cuenta con una dirección IP de 32 bits de una clase determinada dependiendo el tamaño de la red. También es posible dividir la red en otras pequeñas llamadas subredes ofreciendo flexibilidad para los administradores de red. Este protocolo permite además la fragmentación de paquetes. Un paquete IP puede ser direccionado mediante tres mecanismos: Unicast, donde se especifica la dirección IP de un usuario específico, Broadcast donde el paquete es enviado a

todos los usuarios de la red local atravesando switches y bridges, y Multicast, donde el paquete es enviado a un grupo de usuarios que pueden pertenecer a distintas subredes. En conclusión, los paquetes Unicast, permiten establecer comunicaciones entre dos terminales sin importar su ubicación. Los Broadcast se utilizan para comunicarse simultáneamente con todos los miembros de una subred mientras que los Multicast se utilizan en aplicaciones como videoconferencias, donde un usuario transmite y los demás reciben la información. La cabecera IP se compone de los siguientes campos, como se muestra en la **Figura 7**.

- Version: Indica la versión de protocolo que se está utilizando. Puede ser IPv4 o IPv6.
- IHL: Indica la longitud de la cabecera expresada en palabras de 32 bits.
- Type of Service: Permite especificar si el paquete enviado requiere algún tratamiento especial asignando niveles de calidad de servicio (QoS).
- Total Length: Tamaño de la cabecera e información en bytes.
- Identification: Indica un numero de secuencia que permite identificar el datagrama.
- Flags: Indican si un paquete fue fragmentado.
- Time To Live: Indica el tiempo que un datagrama puede permanecer en la red.
- Protocol: Indica cual será el protocolo de capa superior que tratará el paquete.
- Header Checksum: Verifica si hubo errores en la cabecera.
- Source Address: Dirección IP del emisor.
- Destination Address: Dirección IP del destinatario.
- Options: Permite añadir opciones especiales

VERSION	IHL	TYPE OF SERVICE	TOTAL LENGHT
IDENTIFICATION			FLAGS
TIME TO LIVE	PROTOCOL		HEADER CHECKSUM
SOURCE ADDRESS			
DESTINATION ADDRESS			
OPTIONS			

Figura 7: Cabecera Protocolo IP.

Las muestras de voz, se empaquetan para ser transmitidas sobre la red. Típicamente, cada paquete contiene entre 10 y 30 milisegundos de audio. TCP y UDP son los dos protocolos de transporte más utilizados. Generalmente TCP se caracteriza por la confiabilidad y UDP por su simplicidad. Más adelante veremos que al trabajar con señales de tiempo real o señales sensibles a retardos, se utiliza el protocolo RTP (Real Time Protocol) sobre UDP.

2.2.2 TCP (Transport Control Protocol)

TCP es un protocolo de transporte, cuyo propósito es garantizar la entrega de los paquetes en destino sin errores y en el mismo orden que fueron transmitidos. Para ello se implementan distintos mecanismos como números de secuencia, acuses de recibo y reenvío de paquetes. Es un protocolo orientado a la conexión, esto significa que se establece una comunicación entre los puntos antes de transmitir la información. TCP prioriza la confiabilidad sobre la velocidad y eficiencia. Si luego de enviar un paquete, no se recibe una confirmación de recepción después de un cierto periodo, dicho paquete es retransmitido. Para maximizar el rendimiento, TCP permite el envío de varios paquetes antes de recibir dicha confirmación o ACK. Este mecanismo de control de flujo se conoce como ventana deslizante. Las retransmisiones perjudican al usuario, provocando retrasos que se traducen en altos niveles de jitter. Por este motivo, las señales de tiempo real no requieren un protocolo de transporte confiable y se prefiere descartar paquetes. Esto suele ocasionar pequeños silencios durante la llamada. Un paquete TCP incluye una cabecera mínima de 20 bytes y se compone de los siguientes campos, como se muestra en la **Figura 8**.

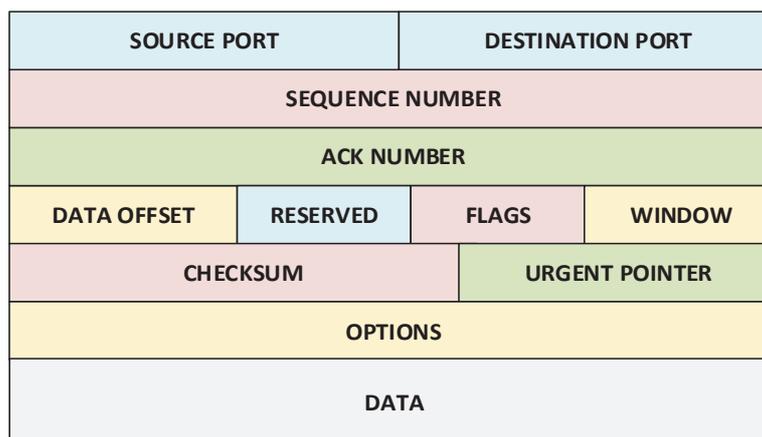


Figura 8: Paquete TCP

- Source Port and Destination Port: Identifican los puntos en los cuales la capa superior recibirá los servicios TCP.
- Sequence Number: Especifica el número asignado al primer byte de datos de un mensaje.
- ACK Number: Contiene el sequence number del próximo byte de datos que se espera recibir.
- Data Offset: Indica el número de palabras de 32 bits en la cabecera TCP.
- Reserved: Reservado para uso futuro.
- Flags: Envía información de control.
- Window: Especifica el tamaño de la ventana deslizante.
- Checksum: Permite verificar si la cabecera y los datos se han dañado durante el transporte.
- Urgent Pointer: Apunta al primer byte de datos urgente en el paquete.
- Options: Especifica opciones de TCP.
- Data: Información o payload.

2.2.3 UDP (User Datagram Protocol)

UDP es un protocolo de transporte no orientado a conexión, esto significa que los paquetes son enviados sin advertencias, preparaciones o negociaciones y no se garantiza su recepción. Es útil en aplicaciones donde la confiabilidad no es una prioridad, como las señales en tiempo real donde los retardos no son aceptados y por ello no se retransmiten los paquetes perdidos. Resulta más conveniente garantizar el flujo de información que la recepción de todos los paquetes. Está compuesto por una cabecera de solamente 8 bytes ya que al no contar con características de control de flujo, numeración de datagramas, acuses de recibo y reenvío de paquetes permite reducir la información adicional y minimizar la sobrecarga por encabezados. En VoIP se utiliza UDP como protocolo de transporte. Un paquete UDP está compuesto por los siguientes campos, como se muestra en la **Figura 9**.



Figura 9: Paquete UDP

- Source Port y Destination Port: Cumplen las mismas funciones que en TCP
- Lenght: Especifica el tamaño de la cabecera y la información.
- Checksum: Permite un control de integridad de los paquetes. Su uso es opcional.
- Data: Información o payload.

2.2.4 RTP (Real Time Protocol)

RTP es un protocolo de capa de aplicación, desarrollado por IETF (Internet Engineering Task Force) para transmitir señales sensibles a retrasos en una red de paquetes. Este protocolo se transporta sobre UDP aprovechando su simplicidad. Hace uso de números de secuencia y marcas temporales para alcanzar un flujo continuo y sincronizado de paquetes. No garantiza calidad de servicio. Al marcarse los paquetes con un Sequence Number y teniendo en cuenta que pueden llegar desordenados o perderse, RTP proporciona un mecanismo que permite ordenarlos en receptor y conocer cuáles y cuántos se han perdido. Gracias a los Time Stamp, permite detectar variaciones de retardo, determinando el tiempo entre paquetes para tomar las medidas adecuadas. Utiliza un puerto par. En la **Figura 10** se muestran los campos que contiene una cabecera RTP.

V	P	X	CC	M	PT	SEQUENCE NUMBER
TIMESTAMP						
SYNCRONIZATION SOURCE IDENTIFIER (SSRC)						
CONTRIBUTING SOURCE IDENTIFIER (CSRC)						

Figura 10: Encabezado RTP

El campo V indica la versión de RTP, P indica si se está enviando información de relleno, X indica si la cabecera es fija o cuenta con alguna extensión, CC indica el número de identificadores fuente y M se fija según la carga útil a transportar. PT indica el formato de la información a transportar. SSRC, indica el valor de sincronización de fuente permitiendo ajustar los valores del Sequence Number y Time Stamp mientras que CSRC permite identificar la fuente de información del otro extremo.

2.2.5 RTCP (Real Time Control Protocol)

El protocolo RTCP se encarga de controlar y monitorear el flujo de datos RTP mediante la transmisión periódica de paquetes de control. Permite obtener estadísticas sobre jitter, retardo y pérdida de paquetes. Su utilización es opcional pero se recomienda hacerlo, dado que conociendo estos parámetros puede mejorarse la calidad de servicio. Los paquetes RTCP se envían cada 5 segundos y permiten verificar las condiciones de transmisión. También soporta conferencias en tiempo real y proporciona información de usuarios que participan en la sesión. Utiliza el puerto impar consecutivo a RTP. Cada participante de una sesión puede transmitir distintos tipos paquetes RTCP como SR (Sender Report), RR (Receiver Report) SDES (Source Description), BYE y APP, que se envían en el campo TYPE del encabezado RTCP mostrado en la **Figura 11**. Por otra parte, el campo V indica la versión del protocolo, P si hay información de relleno, COUNT indica la cantidad de reportes recibidos y LENGHT el tamaño de la cabecera e información.

V	P	COUNT	TYPE	LENGHT
---	---	-------	------	--------

Figura 11: Encabezado RTCP.

2.3 SEÑALIZACIÓN

2.3.1 SIP (Session Initiation Protocol)

Es un protocolo de señalización y control creado por el grupo IETF (Internet Engineering Task Force) para establecer, mantener y finalizar comunicaciones incluyendo transmisión de audio, video, datos y conferencias. Inicialmente fue publicado en 1996, pero en 2002 se publicó una nueva versión que hoy se encuentra en vigencia. SIP fue diseñado en base al modelo de Internet utilizando conceptos de HTTP (mensajes de petición y respuesta). Para lograr la comunicación entre dispositivos utiliza los protocolos RTP/RTCP y SDP (Session Description Protocol). El protocolo RTP se emplea para transportar datos de voz en tiempo real, mientras que SDP se utiliza para negociar las capacidades de los terminales. Para el transporte se utiliza UDP aunque opcionalmente puede emplearse TCP. Para establecer y finalizar una comunicación se requieren elementos físicos y lógicos denominados entidades, entre ellos los User Agent (UA) y distintos tipos de servidores.

Un UA ejecuta acciones en nombre del usuario estableciendo sesiones multimedia. Está compuesto por el User Agent Client (UAC) que genera solicitudes y recibe respuestas y el User Agent Server (UAS) que genera respuestas a dichas peticiones permitiendo una comunicación de tipo cliente-servidor entre diferentes UA's.

El Proxy Server se encarga de retransmitir solicitudes. Es una entidad que actúa como cliente y servidor al mismo tiempo, con el propósito de establecer llamadas entre los usuarios. Su tarea principal es interpretar y encaminar las peticiones que recibe a otros servidores. Existen dos clases: Statefull Proxy y Stateless Proxy.

El Statefull Proxy realiza un seguimiento de las transacciones durante el procesamiento de las solicitudes y las almacena en caso de ser requeridas a futuro. Puede retransmitirlas en caso de no recibir respuesta. Los Stateless Proxy únicamente reenvían mensajes.

El Register Server es una entidad que acepta solicitudes de registro de los usuarios y almacena esta información para suministrar un servicio dinámico de localización de los mismos. También se encarga de la traducción de direcciones.

El Redirect Server re direcciona las solicitudes que recibe y las encamina hacia el próximo servidor.

Como se dijo anteriormente, SIP posee una sintaxis similar a HTTP y los mensajes que implementa se muestran en la siguiente tabla:

INVITE	Invita un usuario a participar en una sesión o modifica parámetros de una ya existente
ACK	Confirma el establecimiento de la sesión (Handshaking)
OPTION	Solicita información a servidor y consulta capacidades.
BYE	Indica la finalización de una sesión
CANCEL	Cancela una solicitud pendiente
REGISTER	Registra un UA en el servidor

Existen también mensajes SIP como respuesta a estas peticiones diferenciándose por el primer dígito de su código:

1xx	Mensajes de información
2xx	Respuestas de aceptación
3xx	Respuestas de redirección
4xx	Fallas en requerimiento del cliente
5xx	Fallas de servidor
6xx	Fallas globales

Las direcciones SIP de los usuarios, comúnmente llamadas URI (Uniform Resource Identifier) son de la forma usuario@host similar a una dirección de e-mail. La parte destinada al usuario, puede ser un nombre o bien un número telefónico, mientras que el host podrá ser un nombre de dominio o una dirección de red. Para comprender su funcionamiento, se analizará detalladamente una llamada SIP. Este procedimiento se ilustra en la **Figura 12**.

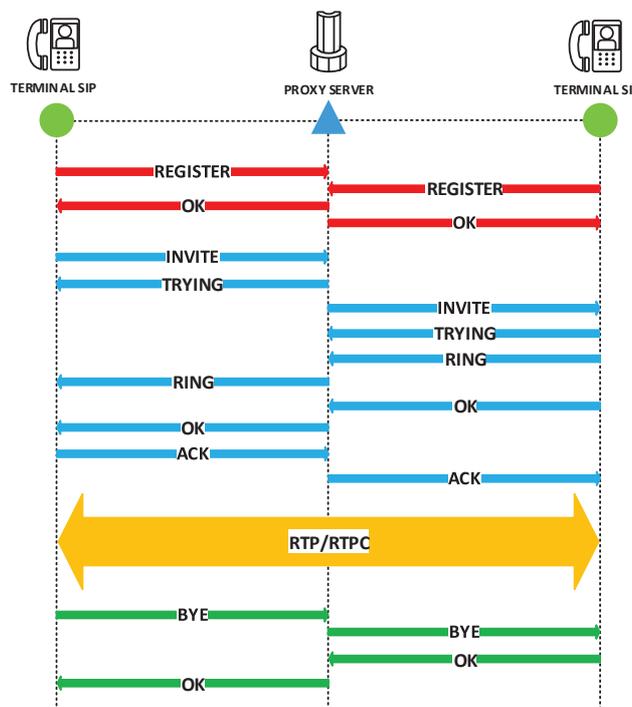


Figura 12: Mensajes intercambiados durante una llamada utilizando el protocolo SIP

Como primera fase, los usuarios deben registrarse en el Proxy Server para poder ser encontrados por otros usuarios por lo tanto ambos terminales envían una petición REGISTER. El proxy server consulta si el usuario puede ser autenticado y responde la solicitud. Luego se establece la sesión mediante con un mensaje INVITE del usuario al Proxy Server, éste responde con TRYING. El Proxy Server reenvía la petición al usuario llamado quien responde con un RING, este último mensaje es reenviado por el Proxy Server al usuario llamante. Por último se acepta la llamada con el mensaje OK. Todos estos mensajes se envían mediante el protocolo SDP y son transportados por UDP aunque opcionalmente podría utilizarse TCP. Una vez establecida la llamada, entra en acción el protocolo RTP en base a los parámetros establecidos en la negociación vía SDP. Se finaliza la sesión con la petición BYE enviada al Proxy Server, y posteriormente reenviada al usuario llamado. Este usuario contesta con un mensaje OK confirmando su recepción.

2.3.2 H.323

Esta recomendación fue desarrollada por la ITU-T en 1996 para la transmisión de comunicaciones de voz, video, datos y fax a través de una red IP, manteniendo conectividad con la PSTN. Durante los últimos años, se han publicado nuevas versiones agregando funcionalidades a las ya existentes. Actualmente, se encuentra en vigor la versión 7. Las redes H.323 están compuestas por:

- Terminales:
Son los puntos finales de la red que proporcionan comunicaciones bidireccionales en tiempo real. Pueden ser teléfonos físicos o softphones.
- Gateway
Establecen la comunicación y traducción entre los terminales H.323 con redes de conmutación de circuitos, como PSTN permitiendo la interoperabilidad con distintas interfaces (FXO, FXS, E&M, ISDN BRI, ISDN PRI, E1, etc.). Traducen audio, video, datos y protocolos.
- Multipoint Controller Unit (MCU)
Permite comunicaciones multipunto o conferencias entre terminales H.323. Consta de dos partes, el procesador multipunto (MP) encargado de realizar funciones de mezcla de medios y el controlador multipunto (MC) que proporciona capacidad de negociación.
- Gatekeeper
Es un elemento importante de la red, brinda servicios a los demás componentes entre ellos la traducción de direcciones, administración de ancho de banda y control de acceso a la red (cada terminal debe registrarse en él y ser autenticado).

Estos elementos se ilustran en la **Figura 13**

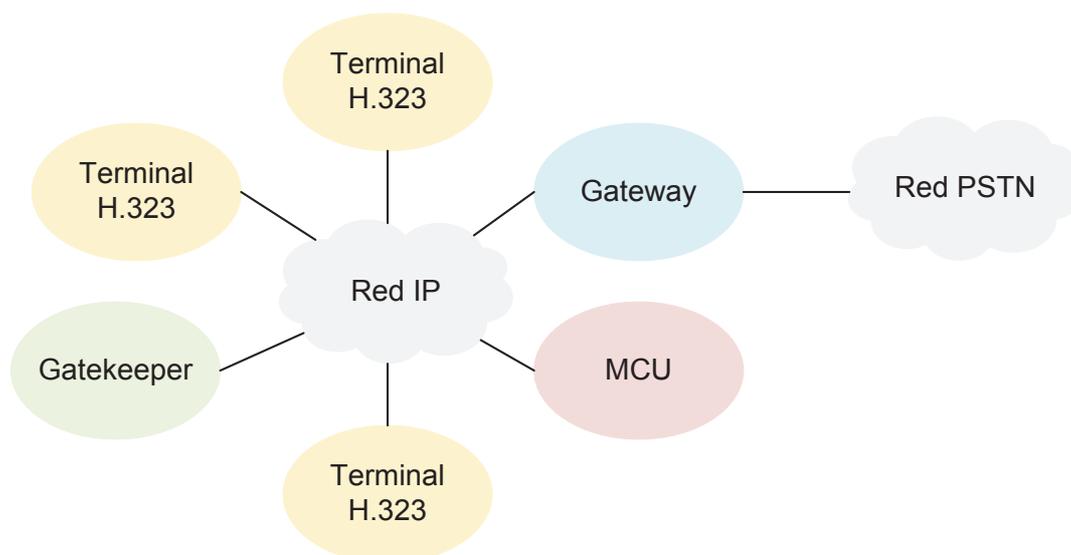


Figura 13: Elementos de una red H.323

H.323 define una serie de protocolos y estándares para llevar a cabo la comunicación. Los más significativos pueden observarse en la **Figura 14**.

El protocolo H.225 se encarga de administración y gestión de señales de audio, video e información de control para proveer servicios de telefonía a terminales H.323. Sus principales funciones son la señalización, registro, admisión, alineación de trama, detección y corrección de errores. En lo que refiere a direccionamiento de llamadas utiliza el sub protocolo RAS (Registration Admission and Status) permitiendo a un terminal H.323 localizar a otro a través del Gatekeeper. Se encarga principalmente de la conexión de terminales al sistema y control de admisión. Sus principales tareas son el descubrimiento del Gatekeeper, registro, admisión, estado y localización de un terminal, disponibilidad de recursos y reajuste de ancho de banda en caso de ser necesario. Es independiente del establecimiento de la llamada y se transporta sobre UDP. Este último no ofrece integridad en los datos pero logra aprovechar mejor el ancho de banda que TCP. También es utilizado para el transporte de los canales de audio y video.

El sub protocolo Q.931 permite el establecimiento y liberación de conexión entre terminales H.323. Se lo conoce como señalización de llamada y contiene mensajes como SETUP, CALL PROCEEDING, ALERTING y CONNECT entre otros. Se transporta por TCP.

El protocolo H.245 permite establecer y controlar comunicaciones multimedia. Acuerda y negocia capacidades entre terminales, anchos de banda, códecs y la configuración (apertura y cierre) de los canales lógicos intercambiando una serie de mensajes (solicitudes, respuestas, comandos o indicaciones). Define terminal cliente y servidor. No es responsable del transporte de voz dado que para ello se utiliza el protocolo RTP.

H.235 se encarga de seguridad y cifrado. Algunas de sus funciones son autenticación de extremo a extremo, validación de los datos dentro de un paquete y políticas de privacidad utilizando mecanismos de encriptación. Para la compresión de la voz se utiliza el códec G.711 aunque también se pueden implementar G.723, G.728 o G.729 entre otros, como veremos más adelante.

Opcionalmente H.261, H.263 y H.264 se utilizan para señales de video mientras que T.120 es el elegido como protocolo para conferencias.

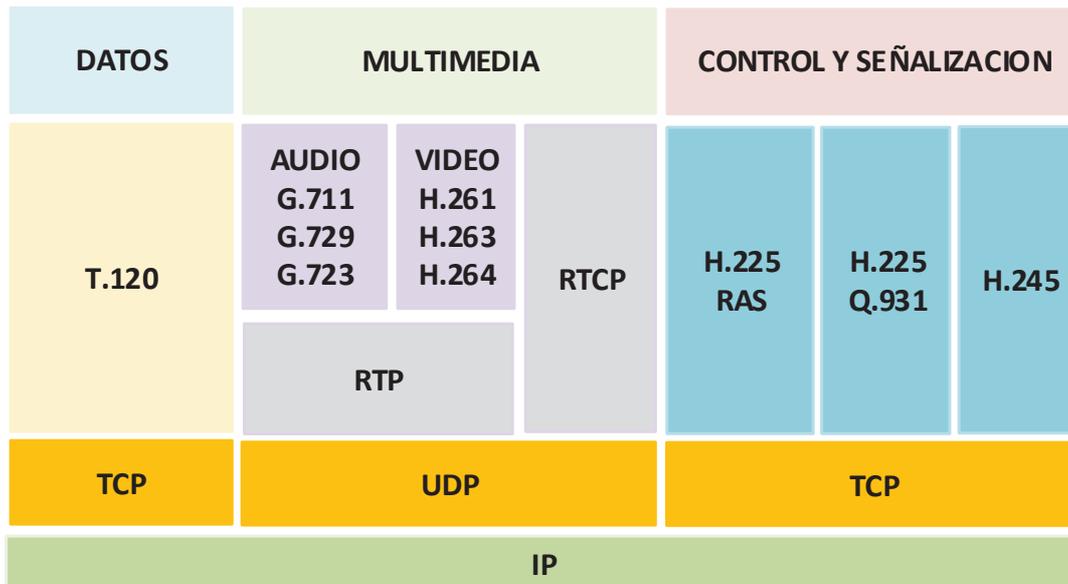


Figura 14: Elementos de una red H.323

El proceso de establecimiento de llamada se compone de cuatro fases, el establecimiento, señalización de control, transferencia multimedia y desconexión.

En la fase de establecimiento uno de los terminales se registra en el gatekeeper utilizando el protocolo RAS) con los mensajes ARQ y ACF, luego utilizando el protocolo H.225 se envía un mensaje de SETUP para iniciar una llamada H.323. Este mensaje contiene la dirección IP, puerto y alias del llamante o bien la dirección IP y puerto del llamado. El terminal que recibe el llamado contesta con un CALL PROCEEDING advirtiendo del intento de establecer una llamada. En este momento el segundo terminal tiene que registrarse con el gatekeeper utilizando el protocolo RAS de manera similar al primer terminal. El mensaje ALERTING indica el inicio de la fase de generación de tono y por último mediante el mensaje CONNECT se indica el comienzo de la conexión. Este procedimiento se ilustra en la **Figura 15**.

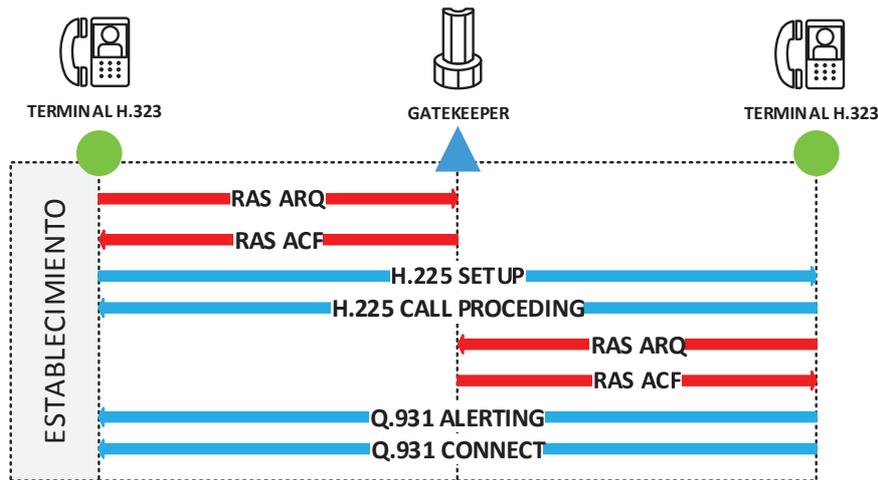


Figura 15: Fase de establecimiento.

En esta fase de señalización, mediante el protocolo H.245, se negocia quién será maestro y quién esclavo, así como también las capacidades de los participantes, codecs de audio y video a utilizar. Por último, se abre el canal lógico de comunicación. El mensaje TCS permite el intercambio de capacidades soportadas por los terminales que intervienen en una llamada mientras que el OLC se utiliza para abrir el canal lógico de información que contiene información para permitir la recepción y codificación de los datos. Este procedimiento se muestra en la **Figura 16**.

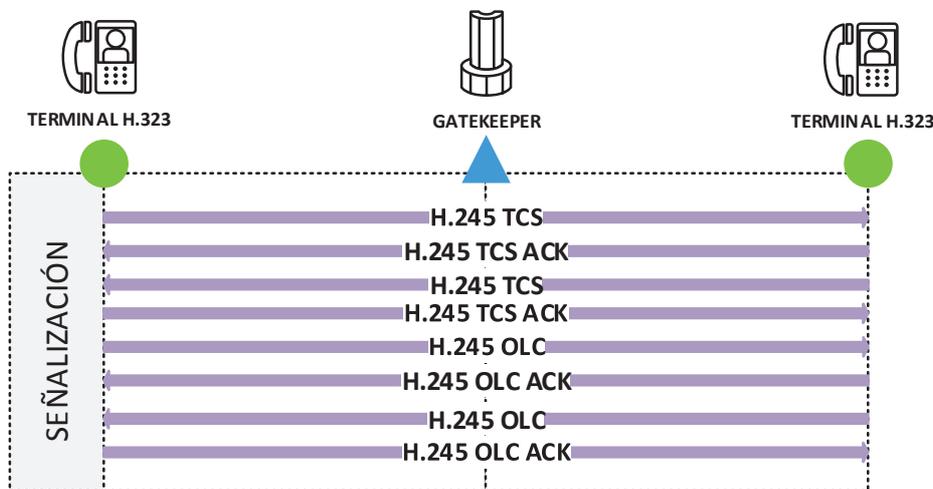


Figura 16: Fase de señalización.

Una vez realizado este procedimiento, los terminales están en condiciones de iniciar la transmisión de audio mediante el protocolo RTP/RTCP. En la fase de desconexión, cualquiera de los participantes activos en la comunicación puede iniciar el proceso de finalización de llamada mediante mensajes CLC y ESC contenidos en el protocolo H.245. Posteriormente utilizando H.225 se cierra la conexión con el mensaje RELEASE COMPLETE. Por último, los registros con el gatekeeper son liberados utilizando el protocolo RAS. Este proceso se ilustra en la **Figura 17**.

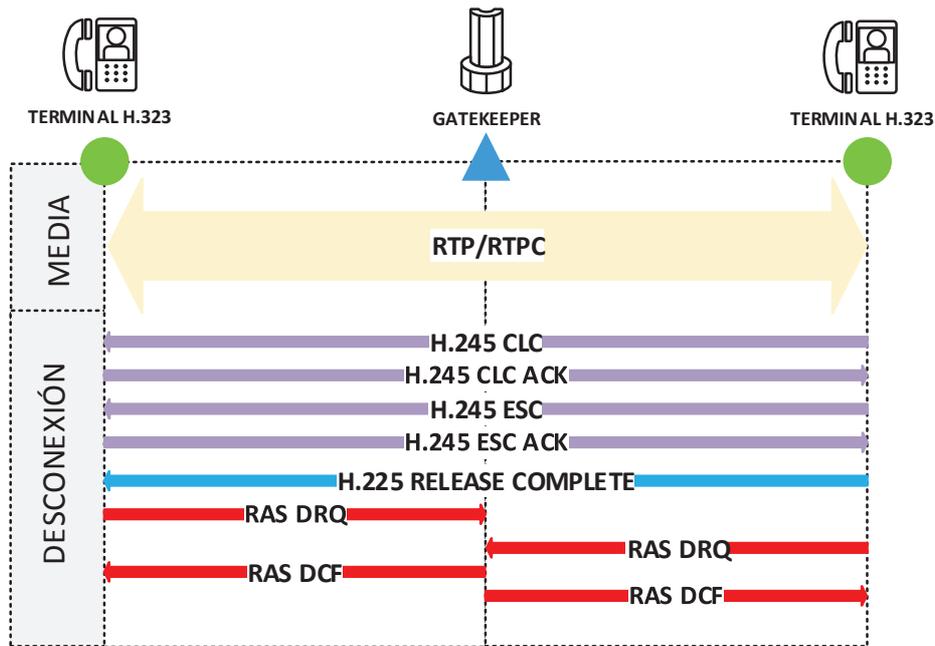


Figura 17: Fase de transmisión de datos multimedia y desconexión

2.3.3 IAX (Inter Asterisk Exchange Protocol)

IAX es un protocolo de señalización para redes VoIP orientado para aplicaciones de telefonía desarrollado por Digium, firma creadora del software Asterisk. Es un protocolo propietario de código abierto y se encuentra vigente su segunda versión. La principal diferencia con SIP y H.323 es que no implementa el protocolo RTP para el envío de multimedia. Utiliza un único puerto UDP para registro, señalización de llamada, transmisión de la voz y desconexión y distingue los distintos tipos de paquetes por sus encabezados. Su ventaja es que permite enviar varios canales de audio en el mismo datagrama logrando un ahorro de ancho de banda. Comúnmente se utilizan troncales IAX para interconectar servidores Asterisk entre sí.

2.4 CALIDAD DE SERVICIO

El protocolo IP fue desarrollado para proporcionar un servicio best effort, es decir que realiza su mejor esfuerzo para entregar paquetes. La calidad de servicio o QoS, se define como un conjunto de requisitos que la red debe cumplir para asegurar un nivel de servicio adecuado al transmitir los datos, en otras palabras es la capacidad de brindar un servicio aceptable. El tráfico de voz es muy sensible al retardo, variación del retardo y la pérdida de paquetes que afectan a las comunicaciones causando palabras entrecortadas, sonidos que faltan, eco o pausas excesivamente largas. El desafío es implementar métodos para reducir estos fenómenos, como supresión de silencios, compresión de cabeceras, cancelación de eco y priorización de paquetes. Existen distintos protocolos desarrollados para garantizar QoS, entre ellos RSVP, MPLS y DiffServ. Los valores recomendables para el uso de VoIP se muestran en la **Figura 18**.

Delay	Jitter	Pérdida de paquetes
Menor a 150 ms en un sentido	Menor a 30 ms en un sentido	Menor a 1%

Figura 18: Valores recomendados.

2.4.1 Jitter (Variación del retardo)

Se define como una variación temporal en la llegada de los paquetes en el extremo receptor. Desde el transmisor, se envía un flujo continuo de paquetes espaciados uniformemente. Debido a congestiones en la red, errores de configuración y las múltiples rutas, el tiempo de llegada entre cada paquete es variable, como se muestra en la **Figura 19**.

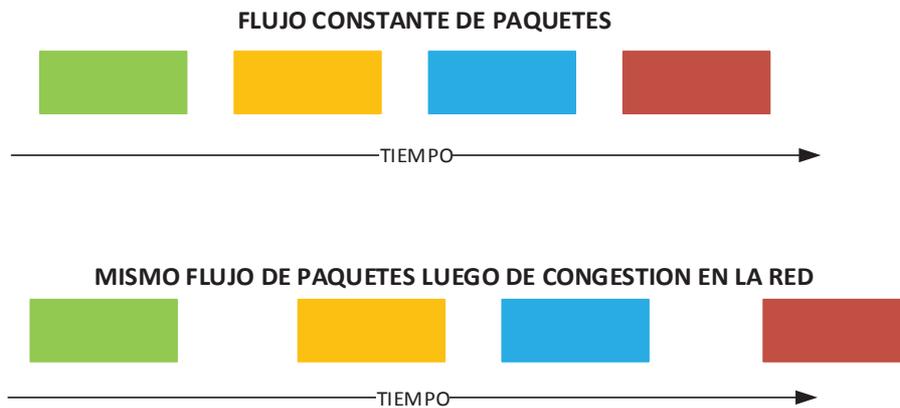


Figura 19: Variación del retardo o Jitter.

Cuando un router recibe un paquete de audio VoIP, debe compensar el jitter. El mecanismo que se encarga de realizar esta tarea se denomina buffer, que acumula los paquetes y los reenvía en un flujo constante. Cuanto mayor sea el jitter, mayor será el buffer requerido para compensar esta variación aumentando el retardo. El buffer puede ser estático o dinámico. En el último caso se configura la cola de bits según la variación de los últimos paquetes, mientras que si es estático un aumento del tamaño del buffer implica menos pérdida de paquetes pero un aumento del retardo. Una disminución implica menos retardo pero mayor pérdida de paquetes. Si el jitter entre transmisor y receptor es inferior a 100 ms, puede ser compensado. Se recomiendan valores menores a 30 ms en un sentido para alcanzar una calidad de audio aceptable. Este proceso se ilustra en la **Figura 20**.



Figura 20: Funcionamiento del buffer.

2.4.2 Retardo (Delay)

El retardo es el tiempo que tarda en llegar un paquete de audio al extremo receptor y causa que las palabras en una conversación se escuchen entrecortadas. Las señales de tiempo real son muy sensibles a este fenómeno que puede ocurrir por distintos motivos (distancia, retardos de propagación, codificación, compresión, etc.) como muestra la **Figura 21**. El retardo entre el transmisor y receptor debe ser inferior a 150 ms. El oído humano es capaz de detectar retardos de 200 ms y al superar este umbral, la comunicación se vuelve molesta. No existen medidas eficaces para solucionar este inconveniente a nivel WAN. Normalmente, se intenta reservar un determinado ancho de banda o marcar los paquetes para que los routers sepan que se trata de tráfico en tiempo real y deben tratarlos con mayor prioridad que otros. Existen retardos constantes y variables causados por:

- Codificación: Se producen por el tiempo que se tarda en digitalizar la señal de voz.
- Paquetización: Se producen por el tiempo que se tarda en empaquetar la señal de voz digitalizada.
- Propagación: Se deben al tiempo en que un paquete se demora en atravesar la red.
- Serialización: Es causado al insertar bits en los distintos protocolos de transporte.
- Buffers: Se debe a los retardos por congestiones en los troncales, donde se utilizan buffers para evitar el jitter.

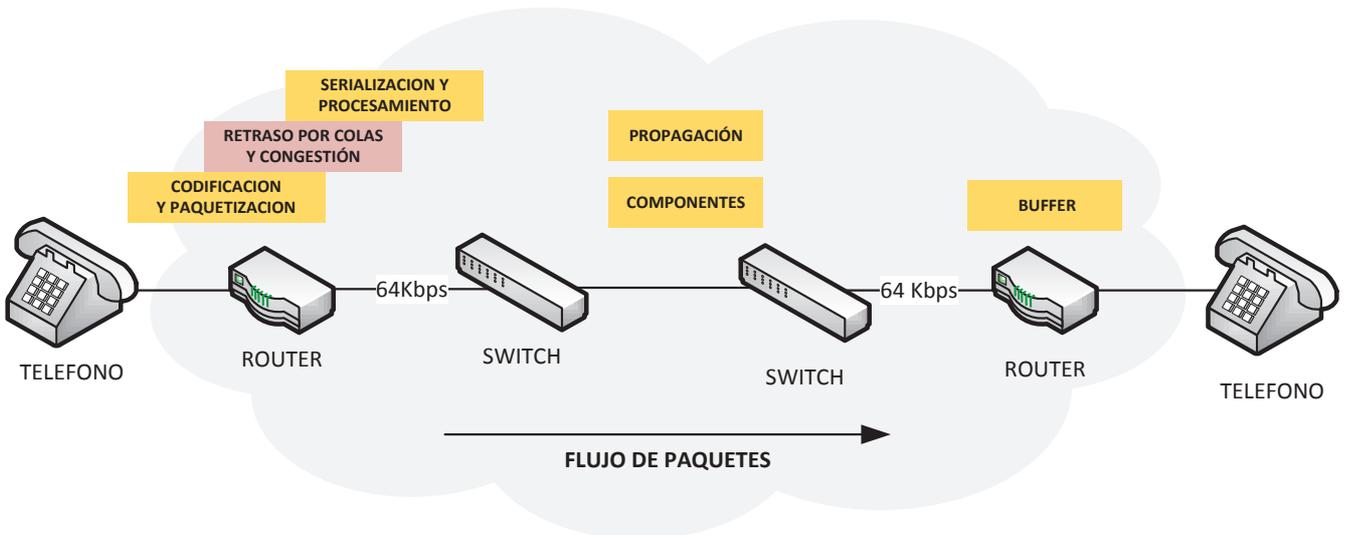


Figura 21: Retardos dentro de una red.

En la **Figura 22** se muestra un delay budget a modo ejemplo, donde se toma la suma de todos los retardos que afectan al flujo de paquetes. Este valor no debe superar los 150 ms.

Tipo de retardo	Constante	Variable
Codificación	18 ms	-
Paquetización	30 ms	-
Congestión en colas	-	8 ms
Serialización	5 ms	-
Propagación	40 ms	25 ms
Buffer	45 ms	-
TOTAL	138 ms	33 ms

Figura 22: Delay Budget.

Los retardos dan origen al eco, que se define como una reflexión retardada de la señal de voz original. Para evitar este efecto se utilizan supresores de eco que al detectar comunicación en un sentido impiden la comunicación en sentido contrario. También se utilizan canceladores de eco, en este caso el emisor almacena la información enviada en una memoria y es capaz de detectar la misma información en la señal que recibe. El dispositivo se encarga de filtrar y cancelar dichas componentes de voz.

2.4.3 Pérdida de Paquetes

Los paquetes perdidos pueden ser retransmitidos en otras aplicaciones, pero al trabajar con señales en tiempo real y utilizar el protocolo UDP esto no es una opción. Las principales causas son los paquetes que se descartan cuando la cola de salida está llena, la saturación del buffer y los paquetes que llegan con errores. La pérdida de paquetes también se relaciona con el códec utilizado, cuanto mayor sea la compresión, más perjudicial será el efecto. En el caso en que se produzcan pérdidas en ráfaga, se percibirán silencios en la conversación, como se muestra en la **Figura 23**. Para mantener una comunicación aceptable la pérdida de paquetes debe ser inferior al 1%. Una solución para reducir este fenómeno es evitar transmitir los silencios de las conversaciones, reduciendo el ancho de banda requerido y consecuentemente los problemas congestión.

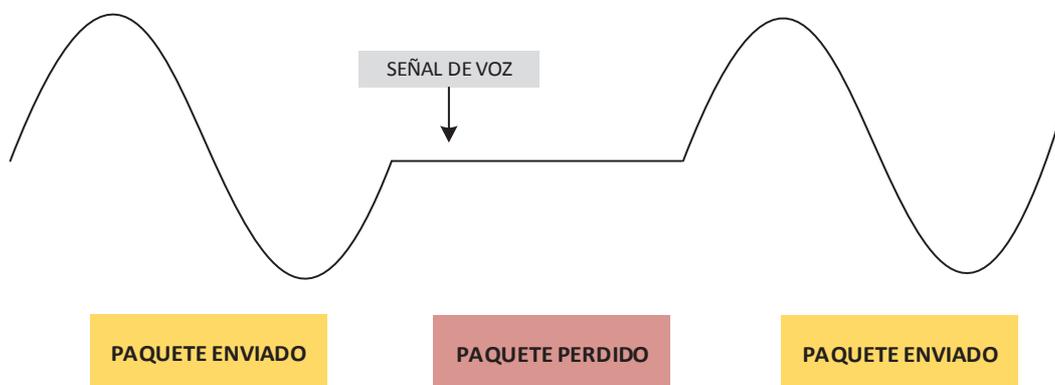


Figura 23: Pérdida de paquetes.

2.5 CODECS

Para digitalizar las señales de voz se utiliza un codificador-decodificador o CODEC. Su función principal es adaptar la información digital para obtener algún beneficio. Generalmente, se basan en modelos matemáticos que aprovechan la capacidad del cerebro humano para formar una impresión a partir de información incompleta dado que las muestras son comprimidas y fraccionadas en paquetes para luego ser transmitidas. En el otro extremo del canal de comunicación se realiza el proceso inverso. La compresión permite importantes ahorros en ancho de banda optimizando los recursos de la red y permitiendo un mayor número de conexiones VoIP simultáneas. Cada códec define el método de codificación, el mecanismo de compresión que utiliza y consecuentemente el ancho de banda requerido y la calidad de la comunicación. El propósito de los algoritmos de codificación es alcanzar un balance entre el ancho de banda y la calidad de audio de las llamadas, eliminando la redundancia de los datos que son enviados. Mientras más se comprima la señal, más recursos usará el CPU. Los codecs también se caracterizan por la complejidad, el bit rate, que indica la cantidad de

información enviada por segundo y el sampling rate, que indica a qué frecuencia se muestrea la señal de voz. El frame size indica cada cuántos milisegundos se envía un paquete con la información y el MOS (Mean Opinion Score) es una medida cualitativa de la calidad de la voz. Un MOS de 5 indica una comunicación con calidad excelente mientras que un MOS de 0 indica una calidad pésima. Se requiere que los interlocutores negocien el mismo códec para poder comunicarse, evitando problemas de interoperabilidad entre terminales.

2.5.1 G.711

G.711 fue desarrollado por ITU en 1972 siendo es el códec nativo de las redes PSTN y conocido formalmente como Pulse Code Modulation (PCM). Se caracteriza por es su alta calidad de voz. Utiliza 64 Kbps, es decir un muestreo de 8 KHz codificando cada muestra con 8 bits. Es el códec recomendado para redes LAN aunque se cuestiona su utilización en enlaces remotos debido a su alto consumo de ancho de banda en comparación con otros códecs. Se encuentra disponible en todas las aplicaciones y equipos VoIP, carece de licencia y es gratuito. Su implementación es sencilla y no necesita un uso extensivo del CPU. G.711 tiene el MOS más alto de todos los codecs, con un valor de 4,2. Su desventaja principal es que necesita una mayor tasa de bits que otros codecs, aunque esto puede obviarse si se trabaja sobre una red de alta velocidad. Existen dos versiones conocidas como Ley- μ (μ -law), utilizada en Estados Unidos y Japón, y la Ley-A (A-law) utilizada en Europa y el resto del mundo. Ambas leyes están compuestas por 256 niveles de cuantificación, correspondientes a los 8 bits disponibles. El proceso de cuantificación de la señal es logarítmico, donde se toma un número determinado de intervalos que se distribuyen de uniformemente tomando pasos pequeños en los niveles bajos de señal y pasos más grandes en los niveles altos disminuyendo la relación señal a ruido. El códec G.711.1, permite interoperar con la infraestructura G.711 existente, mejora la calidad de la señal y ha sido aprobado por la ITU-T en marzo de 2008. Provee dos capas encima de la capa actual G.711 mejorando la calidad en bajas frecuencias (banda de 50 a 300 Hz) y altas frecuencias (banda de 4KHz a 7 KHz). Se pueden añadir una o ambas capas incrementando el bit rate de 64 Kbps hasta 80 o 96 Kbps respectivamente.

2.5.2 G.729

Fue desarrollado por ITU y licenciado por la firma Digium. Es un códec compresor de tipo CS-ACELP (Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction). Este códec utiliza 8 Kbps por canal y genera tramas de 10 ms, a diferencia de G.711 que requiere 64 Kbps. Esto significa que consume ocho veces menos ancho de banda, logrando un ahorro significativo de recursos. Existen extensiones de la norma que permiten tasas de 6.4 Kbps (Anexo D) y 11.8 Kbps (Anexo E) para peor y mejor calidad de voz respectivamente. Idealmente presenta un MOS de 3.8. El uso de aplicaciones usando este códec requiere una licencia exigiendo que los dos extremos de la llamada dispongan de ella para su uso. Sin embargo existen implementaciones gratuitas para uso no comercial. Al igual que G.711, es probablemente uno de los códecs más utilizados en VoIP y se incluye en la mayoría de teléfonos IP que encontramos en el mercado. Mantiene un buen equilibrio entre un reducido

consumo de ancho de banda y una óptima calidad de audio. Existen varias versiones. G.729 Anexo A o G.729A es una versión de complejidad reducida y menor calidad. Es compatible con G.729 y soportado por la mayoría de los teléfonos y sistemas. G.729 Anexo B o G.729B incluye supresión de silencios y no es compatible con las anteriores. G.729AB es una versión de G.729A con supresión de silencios y es compatible solamente con G.729B. Todos ellos tienen un bit rate 8 Kbps.

2.5.3 Otros Codecs

2.5.3.1 G.726

Este códec fue desarrollado por ITU y es conocido como ADPCM (Adaptative Differential Pulse-Code Modulation). Funciona a distintos bit rate (16 Kbps, 24 Kbps, 32 Kbps y 40 Kbps) dependiendo de la cantidad de bits utilizados para codificar. G.726 ofrece una calidad casi idéntica a G.711 utilizando la mitad del ancho de banda. Esto es posible dado que en lugar de enviar el resultado de la medición de cuantificación, envía solamente la información suficiente para describir la diferencia entre la muestra actual y la anterior. Se vuelve atractivo debido a su relación ancho de banda-complejidad y su bajo requerimiento en procesamiento.

2.5.3.2 iLBC

Internet Low Bitrate Códec (iLBC) es un códec diseñado por GIPS (Global IP Sound - Google) y publicado por IETF en 2002. Ofrece una atractiva combinación entre bajo ancho de banda y calidad de audio. Utiliza una codificación lineal predictiva. No es tan popular como los otros códecs desarrollados y por lo tanto puede presentar problemas de compatibilidad con algunos teléfonos. Debido a la utilización algoritmos complejos para lograr sus altos niveles de compresión, requiere una capacidad de procesamiento elevada de CPU. Opera a 13,3 Kbps y 15,2 Kbps. Su licenciamiento es gratuito.

2.5.3.3 GSM

Global System for Mobile Communications (GSM) se utiliza en telefonía móvil en Europa y otras partes del mundo. También se emplea en VoIP, dado que requiere mínimos recursos de procesamiento. La calidad de audio es similar a G.729 con un MOS de 3.6 y su licenciamiento es gratuito. Opera a 13 Kbps y se conoce como RPE-LTP (Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction).

2.5.3.4 Speex

Fue desarrollado por la firma Xiph y cuenta con licenciamiento gratuito. Permite variar el bit rate dinámicamente según los requerimientos soportados por la red. Es posible modificar el consumo de CPU a costa de consumo de ancho de banda o calidad de audio. Opera desde 2.15 Kbps hasta 22.4 Kbps.

2.5.3.5 G.728

Este códec comprime según Low-Delay Code Excited Linear Prediction (LD-CELP) obteniéndose una tasa de 16 Kbps con una calidad MOS de 3.6.

2.5.3.6 G.723.1

Es un códec utilizado para comprimir señales multimedia con un bit rate de 5.3 y 6.4 Kbps. El bit rate mas alto está basado en la tecnología MP-MLQ (Multipulse LPC with Maximum Likelihood Quantization) y provee una mayor calidad, mientras que el bit rate más bajo se basa en CELP logrando una calidad aceptable. Tiene licencias pagas y se encuentra estandarizado por ITU.

2.5.4 Comparación de codecs y ancho de banda

En la **Figura 24** se comparan los codecs descriptos anteriormente teniendo en cuenta el bit rate, la calidad de audio según la escala MOS y el procesamiento CPU requerido por cada uno.

Codec	Bit Rate	MOS	CPU
G.711 (PCM)	64 Kbps	4.2	Bajo
G.729A (CS-ACELP)	8 Kbps	3.8	Alto
G.726 (ADPCM)	16, 24 ,32, 40 Kbps	3.7	Medio
G.728 (LD-CELP)	16 Kbps	3.6	Alto
G.723.1	6.3 Kbps (MP-MLQ) 5.3 Kbps (ACELP)	3.9 3.7	Alto
Speex	Variable entre 2.15 y 22.4 Kbps	~ 4	Medio
iLBC (LPC)	13.3 Kbps 15.2 Kbps	4.1	Alto
GSM (RPE-LTP)	13 Kbps	3.6	Alto

Figura 24: Tabla comparativa de codecs.

Cabe destacar que al ancho de banda propio de la señal de voz codificada se le deberá añadir información adicional referente a las cabeceras de los protocolos utilizados para el transporte provocando un aumento en el ancho de banda. Este aumento será variable según el códec seleccionado. Por este motivo, la paquetización de los datos de voz no se hace muestra a muestra dando origen al denominado periodo de paquetización, donde para generar un paquete IP se espera hasta acumular una cantidad de muestras.

Tomando como ejemplo el protocolo G.711, el periodo típico de paquetización es de 20 mseg y teniendo en cuenta que la tasa de bits es 64 Kbps, en una trama se obtienen 160 bytes de voz. Como muestra la **Figura 25**, se adicionan 40 bytes correspondientes a las cabeceras RTP, UDP e IP. La razón entre este valor y el payload (160 bytes) nos permite concluir que se añade un 25% de información a causa de dichas cabeceras.

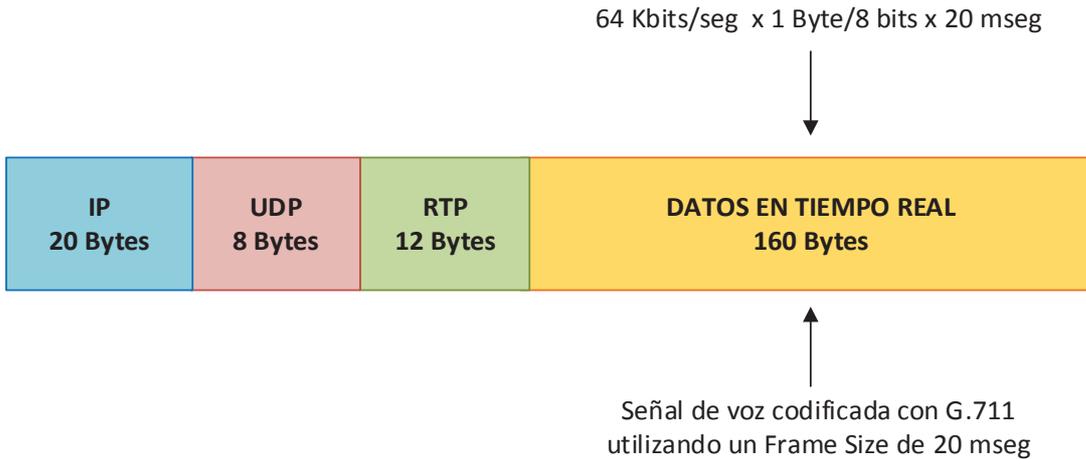


Figura 25: Encapsulamiento de protocolos.

Si utilizamos Ethernet como protocolo de capa 2, se agregan otros 18 bytes (6 bytes para MAC Origen, 6 bytes para MAC Destino, 2 bytes para Type y 4 bytes para CRC). Para calcular el ancho de banda real que se requiere para dimensionar una red VoIP, sabemos que utilizando G.711 se transmiten 218 bytes o bien 1744 bits. Conociendo que se generan 50 tramas por segundo alcanzaremos un valor de 87,2 Kbps por canal. En la **Figura 26**, se calcula el ancho de banda requerido por los codecs más utilizados.

Codec	Bit Rate	Frame Size	BW Ethernet
G.711 (PCM)	64 Kbps	20 ms	87,2 Kbps
G.729A (CS-ACELP)	8 Kbps	10 ms	31,2 Kbps
G.726 (ADPCM)	32 Kbps	20 ms	55,2 Kbps
G.728 (LD-CELP)	16 Kbps	30 ms	31,5 Kbps
G.723.1	6.3 Kbps (MP-MLQ) 5.3 Kbps (ACELP)	30 ms	21,9 Kbps 20,8 Kbps
iLBC (LPC)	13.3 Kbps 15.2 Kbps	30 ms 20 ms	28,8 Kbps 38,4 Kbps
GSM (RPE-LTP)	13 Kbps	22,5 ms	33,6 Kbps

Figura 26: Codecs y ancho de banda.

Existen distintas herramientas para reducir el ancho de banda, por ejemplo la supresión de silencios o la compresión de cabeceras. Teniendo en cuenta que alrededor del 60 % del tiempo de una comunicación son silencios, desde el lado emisor pueden suprimirse estos silencios y no transmitirse. Utilizando VAD (Voice Activity Detection), se puede lograr hasta un 35 % de ahorro de ancho de banda. Es recomendable utilizarlo cuando se tiene un alto tráfico.

Otra de las alternativas para reducir el ancho de banda consumido por las cabeceras es el uso de cRTP, que permite reducir los 40 bytes de las cabeceras IP/RTP/UDP a 2 bytes si no se utiliza Checksum de UDP o a 4 bytes si es utilizado. Es recomendable en interfaces WAN, donde el ancho de banda es limitado y existen altos niveles de tráfico en tiempo real. Se aplica en ambos extremos del enlace y requiere capacidad de procesamiento en los equipos. La premisa es que la mayoría de los campos de las cabeceras no varían demasiado entre los paquetes. Luego de enviarse el primero, en los siguientes solamente se envía un número denominado *hash* que se asocia a los cambios que existan entre ellos. En la **Figura 27** se observa el ahorro en ancho de banda utilizando este compresor de cabeceras.

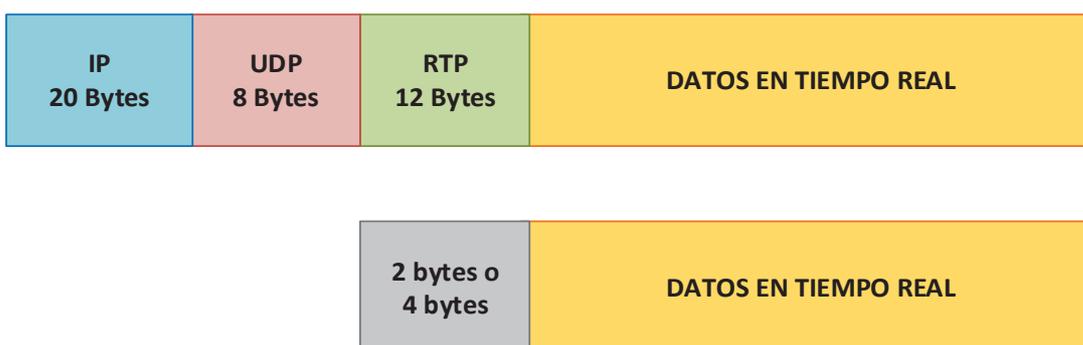


Figura 27: Compresor de cabeceras cRTP.

2.6 SOFTWARE Y SOLUCIONES

2.6.1 Open Source

2.6.1.1 Asterisk

Asterisk es un software de licencia libre que actúa bajo Linux y fue desarrollado para cumplir funciones de central telefónica VoIP. En los últimos años, muchas empresas a nivel mundial han decidido migrar hacia esta plataforma dado que cumple con las mismas características que las centrales telefónicas desarrolladas por las grandes empresas de telefonía. Hoy en día, se fabrica hardware compatible con Asterisk para lograr la conexión con la red PSTN impulsando aún más su crecimiento. Fue desarrollado por Mark Spencer y comenzó como una solución de central telefónica de bajo presupuesto enfocada a pequeñas empresas. En 1999, se publicó el código bajo licencia GPL (General Public License). Al necesitar interoperar con hardware telefónico se unió a Zaptel, empresa fabricante de drivers open source para placas telefónicas de PC. Actualmente, ambos proyectos forman parte de una compañía llamada Digium, que ofrece productos y servicios relacionados con la venta de hardware compatible con Asterisk. Las empresas buscan optimizar sus recursos y reducir costos. Aprovechando el auge de las comunicaciones VoIP, la plataforma logró expandirse sin demasiados requerimientos de software o hardware para su funcionamiento. Al utilizar hardware genérico, permite que las empresas no dependan de un solo fabricante. Muchas centrales telefónicas comerciales están basados en esta alternativa.

Las funcionalidades más relevantes que soporta son las siguientes:

- **Contestador automático de llamadas**
Cumple funciones de operadora telefónica y es muy útil en empresas que reciben altos flujos de llamadas y no poseen el personal necesario para manejar el tráfico de llamadas entrantes. La plataforma responde a los dígitos marcados por el teclado de la persona que llama, encamina las llamadas a extensiones específicas, provee acceso a información pregrabada y toma mensajes.
- **Transferencia de llamadas**
Existen dos métodos para transferir llamadas, transferencia atendida donde previamente se llama al destinatario para avisarle que se le transferirá una llamada o transferencia ciega donde la llamada se transfiere directamente.
- **No molestar**
Permite a cualquier usuario configurar su extensión para no recibir llamadas durante un período. Cualquier llamada entrante será derivada automáticamente al buzón de correo.
- **Parqueo de llamadas**
Permite al usuario que recibe una llamada enviarla a un espacio de parqueo y atenderla desde otra extensión.
- **Captura de llamada**
Permite tomar una llamada que se encuentra sonando en una extensión ajena.
- **Monitoreo y grabación de llamadas**
Se utiliza para control de los operadores telefónicos o de los agentes de ventas. Las grabaciones se almacenan en el servidor.
- **Correo de voz**
Permite guardar y escuchar mensajes dejados por llamantes que no pudieron ser atendidos. Para acceder al buzón de mensajes de voz se debe discar un código predeterminado.
- **Conferencias**
Permite generar una llamada con varios participantes a la vez. Para acceder a esta funcionalidad se crean salas de conferencia. Cada sala se encuentra asociada a un número. Para acceder a una conferencia basta con marcar el número correspondiente a la sala deseada.
- **Detalle de llamadas**
Asterisk genera registros de detalle de llamadas y los almacena en una base de datos. Accediendo a esta base de datos se pueden generar reportes de uso.

- Colas de atención
Permite que un gran número de llamadas entrantes puedan permanecer en espera hasta que un representante esté disponible contestar. Esto asegura que dichas llamadas no terminen obligatoriamente en el voicemail.
- Llamada en espera
Permite que la persona que se encuentra atendiendo una llamada y recibe otra, pueda interrumpir temporalmente su primera conversación para atender la segunda.
- Caller ID
Permite identificar el número que está llamando. Asterisk aprovecha esta facilidad y a nivel de extensiones IP soporta plenamente su manejo. A nivel de líneas de la PSTN es el proveedor de estas quien debe habilitar o proporcionar esta característica.
- Envío y recepción de fax
Asterisk detecta automáticamente cuando un llamante está intentando enviar un fax. Luego de ser digitalizado, el documento puede ser enviado vía e-mail a una cuenta específica para su revisión.
- Directorio de extensiones
Permite que la persona que llama pueda discar los números correspondientes a las cuatro primeras letras del apellido o nombre de la persona con la que desea hablar.
- IVR (Interactive Voice Response)
Permite acceder a opciones telefónicas que mejoran la forma en la cual se acepta y distribuye las llamadas. Se proporcionan procesos de auto atención que permitirán incluso prescindir de una recepcionista en ciertos casos.
- Música en espera
Permite utilizar cualquier archivo en formato MP3 o WAV como música de fondo para que ser reproducida cuando una llamada se encuentre esperando a que un representante de la empresa lo atienda.
- Manejo de comportamiento por horarios
Es posible configurar Asterisk para que tenga un tratamiento diferente para las llamadas entrantes y salientes dependiendo de la hora, día o mes.
- Follow me
Permite definir una secuencia de llamadas simultáneas o en secuencia en diferentes dispositivos para poder ubicar a un usuario.

2.6.2 Propietarias

El software propietario hace referencia a cualquier programa informático en el que los usuarios tienen limitadas las posibilidades de utilizarlo, modificarlo o redistribuirlo o que su código fuente no se encuentre disponible. La compañía fabricante posee los derechos de autor sobre el software negando los derechos de usar el programa con cualquier otro propósito, por ejemplo adaptarlo a las propias necesidades. No es posible distribuir copias, mejorar el programa y hacer públicas las mejoras. Tiempo antes de la expansión masiva de Internet, las comunicaciones eran controladas por unas pocas empresas que creaban las tecnologías y otras que utilizaban los productos y servicios. Los principales desarrolladores de estos sistemas son Cisco, Avaya, ShoreTel, Ericsson, Panasonic, Alcatel-Lucent, Nortel Networks, Matra, Samsung, Siemens y LG, entre otras. En la **Figura 28** se muestra como ha aumentado el tráfico mundial VoIP entre 2011 y 2016. Gracias a la propagación de Internet, los precios bajaron y dieron lugar a nuevas tecnologías.

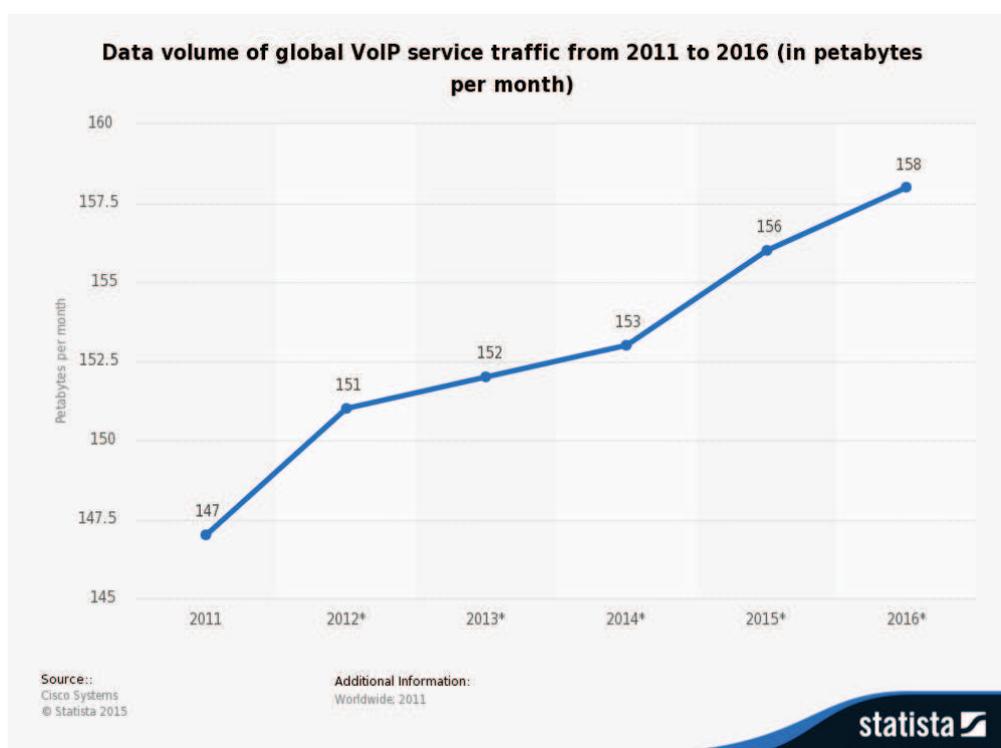


Figura 28: Tráfico de datos mundial del servicio VoIP en peta bytes mensuales.
Extraído de www.statista.com el 10 de octubre de 2016

2.6.3 Comparación

En la **Figura 29** y **Figura 30** se presentan las principales diferencias entre las soluciones open source y las propietarias, analizando sus ventajas y desventajas.

SOLUCIONES OPEN SOURCE	
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> ○ Bajo costo de adquisición y uso libre (no requiere licencias pagas). ○ Bajos requisitos de hardware. ○ Permite innovación tecnológica. ○ Cooperación entre programadores para implementar mejoras. ○ Independencia del proveedor. ○ Aumento de industria local. ○ Permite adaptaciones a necesidades particulares.
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> ○ La curva de aprendizaje es mayor. ○ Se necesita dedicar recursos para reparar errores. ○ Algunas distribuciones cuentan con interfaces poco amigables. ○ Configuración de hardware poco intuitiva. ○ Soporte online a través de foros. ○ Se requieren conocimientos previos para utilizar Asterisk. ○ Diversidad de distribuciones.

Figura 29: Soluciones Open Source.

SOLUCIONES PROPIETARIAS	
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> ○ Las empresas proveedoras destinan recursos a la investigación. ○ Cuentan con personal altamente capacitado. ○ El software es de uso popular en distintas empresas. ○ Diseñan software a prueba de fallos. ○ Difusión de publicaciones sobre el uso y aplicación. ○ Garantía.
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> ○ Licencias por uso y actualizaciones pagas. ○ Cursos de capacitación muy costosos. ○ No se conoce el código fuente. ○ Contrato de mantenimiento anual para soporte técnico. ○ Las adaptaciones son muy costosas. ○ Derecho exclusivo de innovación. ○ No se pueden realizar copias sin licencia. ○ Imposibilidad de replicar en otras dependencias. ○ Si la compañía desaparece, también lo hace el soporte. ○ Discontinuación de versiones de software. ○ Dependencia de proveedores.

Figura 30: Soluciones propietarias.

2.7 HARDWARE

Teniendo en cuenta que la mayor parte de las funcionalidades están incluidas en el software de comunicaciones unificadas, se requiere cierto hardware para la interconexión con la red PSTN y equipos basados en otras tecnologías. Algunos de los componentes requeridos se muestran en la **Figura 31**.

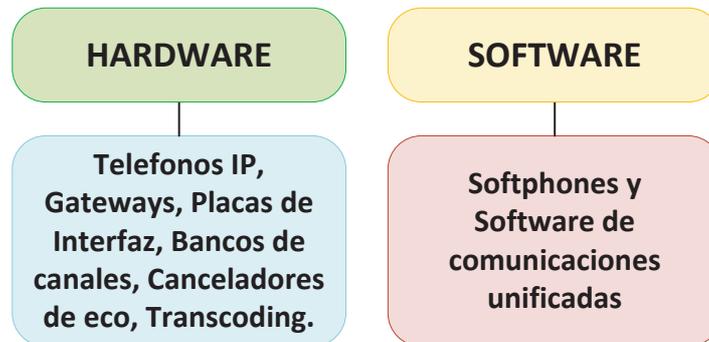


Figura 31: Componentes de hardware y software.

Una interfaz FXS (Foreign Exchange Station) permite conectar dispositivos terminales, como un teléfono analógico convencional, a un router o central telefónica. Proporciona alimentación eléctrica y señalización de llamada al dispositivo terminal. En otras palabras es el puerto que envía la línea al abonado. El puerto que recibe la línea se denomina interfaz FXO (Foreign Exchange Office) y permite conectar un terminal a la red PSTN o una central telefónica. Además se encarga de enviar una señal de colgado o descolgado y está incorporado en el equipo terminal. Como se observa en la **Figura 32** ambas interfaces son siempre pares y se corresponden mutuamente, una interfaz FXS se conecta en el otro extremo a una interfaz FXO.

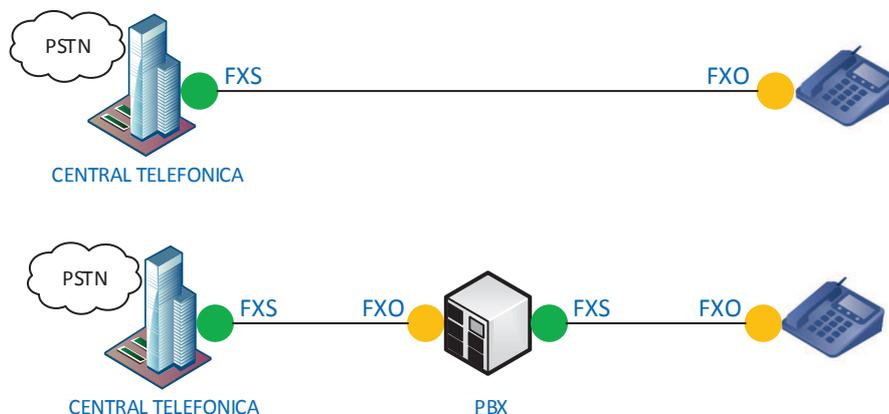


Figura 32: Interfaces FXS y FXO.

Las placas de interfaz permiten conectar:

- Líneas analógicas.
- Teléfonos analógicos.
- Proveedores de servicios VoIP.
- Troncales digitales.
- Líneas GSM.

Todas las placas están disponibles en PCI Express. También existen tarjetas híbridas, donde se combinan algunas de las conexiones mencionadas anteriormente en una misma placa. En la **Figura 33** se muestran algunos modelos con sus puertos de conexión.

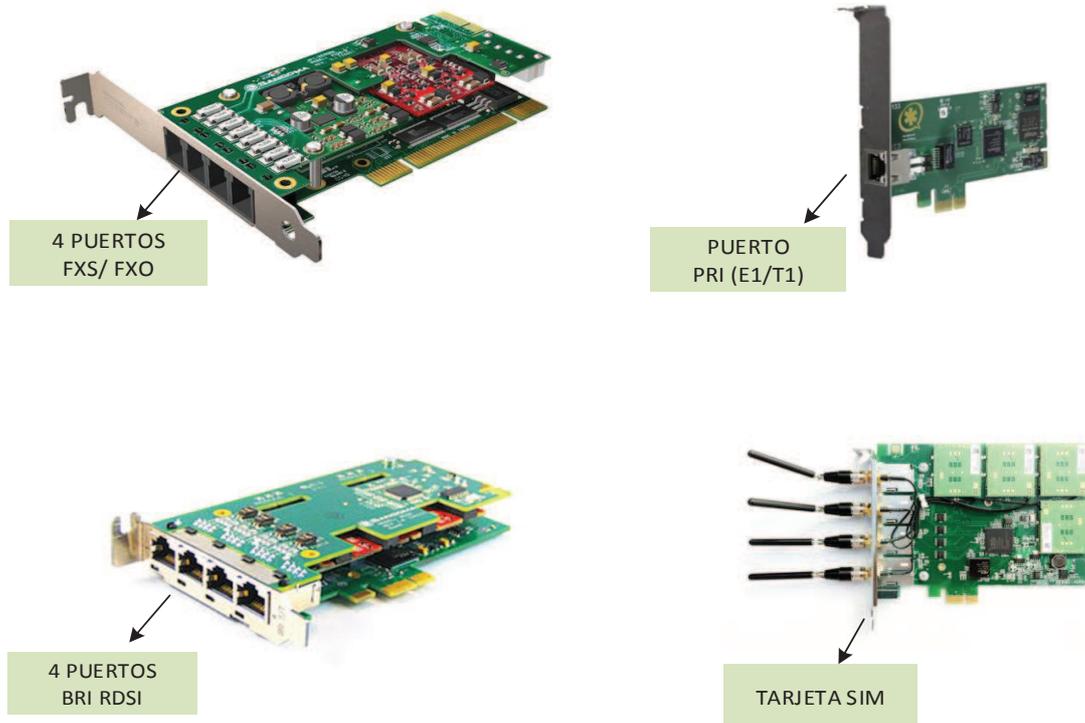


Figura 33: Tarjetas de Interfaz.

Al conectarse a la red PSTN se presentan problemas de eco. Este fenómeno se manifiesta como un reflejo distorsionado y retrasado de la voz del usuario en una conversación con un abonado externo. Existen tarjetas de cancelación de eco que permiten eliminar el desajuste del eco, una de ellas se muestra en la **Figura 34**. Estos dispositivos se conectan directamente a las placas de interfaz.



Figura 34: Cancelador de eco

Los ATA (Analog Telephone Adaptor) permiten la conexión de teléfonos analógicos para ser utilizados en una red VoIP. Estos dispositivos toman la señal analógica de un teléfono tradicional y la convierten en una señal digital para su transmisión a través de la red de datos y viceversa. Si se cuenta con una red de telefonía analógica, son una buena opción para migrar a telefonía IP dado que se pueden aprovechar los terminales existentes. Los ATA generalmente se interconectan a través de un troncal utilizando el protocolo SIP, aunque algunos modelos también soportan otros protocolos, como IAX. Cumplen la función de puente entre el mundo analógico y el IP. Cuentan con uno o varios puertos Ethernet para conectarse a la red y distintos puertos FXS donde se conectan los teléfonos. En la **Figura 35** se muestran algunos modelos de las principales empresas fabricantes de estos dispositivos.



Figura 35: ATA (Analog Telephone Adaptor).

Un banco de canales permite convertir un grupo de interfaces FXS o FXO en interfaces E1/T1 u otras interfaces de velocidad superior. Permite distintas combinaciones de líneas y troncales. En la **Figura 36** se muestra un que permite conectar hasta 32 puertos FXS/FXO o 4 puertos E1/T1 y 24 puertos FXS/FXO.



Figura 36: Banco de canales

Las aplicaciones de telefonía IP requieren el uso de múltiples códecs de voz que se utilizan para comprimir digitalmente señales de voz y ahorrar ancho de banda. Las señales de voz que provienen de la red PSTN utilizan el códec G.711, sin embargo los terminales VoIP son compatibles con una gran variedad de códecs de voz. Existen tarjetas que permiten convertir numerosos canales simultáneos de un tipo de códec a otro, sin que se usen los recursos de la CPU. Una de ellas se muestra en la **Figura 37**.



Figura 37: Tarjeta transcoding.

Un Gateway es un dispositivo de red que permite convertir las llamadas de voz en tiempo real, entre una red IP y la red PSTN. Es posible utilizar la red IP existente para las comunicaciones de voz manteniendo una conexión TDM con la red PSTN. En la **Figura 38** se muestra el modelo proporciona hasta 120 llamadas simultáneas de TDM a SIP, SIP a TDM o SIP a SIP.



Figura 38: Gateway PRI (E1/T1)

Los teléfonos IP soportan llamadas VoIP y cuentan con conectores RJ45 para la conexión a la red de datos. Hay de distintas clases según sus prestaciones. Comúnmente soportan los protocolos SIP, IAX y H.323. Los costos de los equipos varían según sus prestaciones como cantidad cuentas SIP soportadas, si cuentan con pantalla táctil, Wi-Fi, teclas programables, fuente de alimentación, si admiten PoE (Power over Ethernet), altavoz y manos libres. En

la **Figura 39** se muestran algunos modelos de las principales empresas fabricantes.



Figura 39: Teléfonos IP.

Por último, existen los softphones, que no son más que un teléfono en versión software con la capacidad de realizar llamadas de voz y video a través de una computadora o dispositivo donde el mismo se encuentre instalado. Permiten realizar llamadas a otros softphones o teléfonos. En la **Figura 40** se muestran algunos de ellos en versiones aptas para Android y Windows.

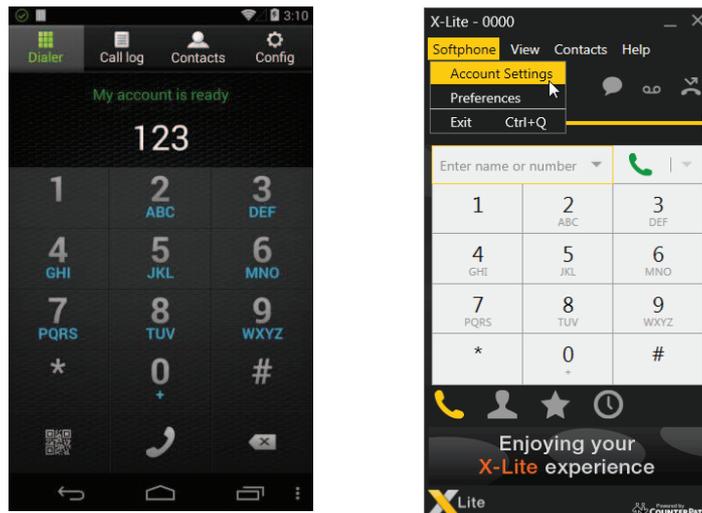


Figura 40: Softphones.

2.8 POLÍTICAS DE SEGURIDAD

VoIP ha crecido considerablemente, siendo hoy una de las alternativas más utilizadas como solución de telefonía en muchas empresas debido al ahorro en llamadas e infraestructura de red. Las centrales requieren ser protegidas para impedir que cualquier hacker con intenciones maliciosas pueda explotar el sistema en beneficio propio. Existen distintos tipos de ataques informáticos:

2.8.1 DoS (Denial of Service)

Se denominan ataques de denegación de servicio y causan que dicho servicio sea inaccesible a los usuarios a causa de una sobrecarga de recursos y ancho de banda disponible. Se genera mediante el colapso de los puertos utilizando un código específico, haciendo que el servidor se sature y no pueda dar servicios a los usuarios legítimos. De esta forma, los servidores no dan abasto y el atacante toma el control del servidor. Es una de las técnicas más eficaces y dañinas.

2.8.2 SIP Flooding

Consiste en bombardear un servidor SIP con paquetes INVITE. Éste queda esperando respuesta del supuesto usuario. La respuesta nunca llega y mientras tanto otras falsas llamadas intentan hacer conexiones. Si un alto volumen de estas falsas llamadas ingresa al equipo pueden ocasionar un colapso del servidor causando una caída del servicio.

2.8.3 Sniffing

Consiste en escuchar los paquetes que circulan por la red. Para poder capturar el tráfico se utiliza una aplicación llamada *sniffer* y existen alternativas de fácil acceso disponibles en Internet convirtiéndose en una tarea sencilla de llevar a cabo por hackers. El atacante tiene acceso a información proveniente de los identificadores de llamada y podría decodificar las tramas RTP y escuchar la llamada en curso.

2.8.4 Man in the middle

Permiten que un tercero pueda controlar, registrar, bloquear o incluso alterar, una transmisión. Los programas de sniffing usualmente acompañan este tipo de ataques. Para evitar escuchas es necesario encriptar la comunicación, para ello es posible establecer túneles virtuales y enviar las comunicaciones encriptadas si los teléfonos soportan esta prestación.

2.8.5 Malware

Se trata de software diseñado para navegar a través de Internet, infectando computadoras y servidores con el fin de multiplicarse y volverse masivo.

2.8.6 Posibles soluciones

Para reducir la probabilidad de convertirse en un blanco de ataques se recomienda utilizar políticas de seguridad. Algunas soluciones que ayudan a defenderse de estos ataques son:

- Uso de firewall.
- VLANs para separar la red de voz de la red de datos.
- Encriptación vía SRTP y utilización de VPN.
- Restringir acceso físico a servidores.
- Restringir DHCP a dispositivos con direcciones MAC conocidas.
- Evitar uso de usuario root.
- Cambiar claves por defecto y utilizar contraseñas fuertes.
- Proteger tramas RTP.
- Asegurar sistema operativo.
- Controlar acceso a red inalámbrica en caso de utilizar softphones.
- Actualizar regularmente el software.

En este capítulo se estudiaron las tecnologías necesarias para el desarrollo del proyecto. Se presentaron los conceptos básicos sobre redes telefónicas y los protocolos necesarios para el transporte de señales de tiempo real así como también los protocolos de señalización más populares en VoIP, analizando cómo afecta el retardo, el jitter y la pérdida de paquetes al querer garantizar calidad de servicio. Se estudiaron los codecs más utilizados presentando ventajas y desventajas de cada uno, las soluciones posibles a la hora de implementar una central telefónica y el hardware necesario para su interconexión con la red de telefonía pública. Por último se analizaron los mecanismos y políticas de seguridad a tener en cuenta al implementar una red VoIP.

En el Capítulo 3 (Proyecto) se presentará el caso de estudio acompañado por los requerimientos del cliente necesarios para diseñar el proyecto haciendo uso de las tecnologías estudiadas en las páginas anteriores. Se realizará un análisis del tráfico externo e interno para dimensionar el servicio, seleccionando los protocolos y codecs más adecuados. Se presentaran las funcionalidades de la solución de software libre a emplear y los requerimientos de hardware necesarios en lo que refiere a servidores, gateways y placas de interfaz necesarias, incluyendo un plan de numeración y direccionamiento de llamadas a través de un árbol IVR.

3. PROYECTO

En el presente capítulo se presentará el caso de estudio y los requerimientos del cliente para luego diseñar el proyecto haciendo uso de las tecnologías estudiadas en el capítulo anterior. Se realizará un análisis del tráfico externo e interno para dimensionar la solución. Utilizando el Modelo de Erlang, se calculará la cantidad de líneas externas necesarias para dar conectividad a los usuarios del CEUNIM así como también el ancho de banda necesario para cursar las llamadas internas y enlazar la central telefónica con la Universidad Nacional de San Martín haciendo uso del códec más adecuado para asegurar una excelente calidad de voz. Además, se realizará una selección de protocolos de señalización teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas. Se presentaran las funcionalidades de la solución de software libre a emplear y los requerimientos de hardware necesarios en lo que refiere a servidores y tarjetas de interfaz necesarias para brindar un servicio de alta disponibilidad. Por último, se presentará el plan de numeración y direccionamiento sugerido y una prueba de funcionamiento configurando dos extensiones y estableciendo una llamada entre ellas.

3.1 CASO DE ESTUDIO

El Centro Universitario de Imágenes Médicas (CEUNIM) propone el logro de avances en aspectos teóricos, prácticos y metodológicos en el área de las imágenes médicas. Fundamentalmente se orientará a fortalecer el trabajo científico, la formación de recursos humanos y la vinculación entre el sector salud y académico permitiendo el desarrollo de proyectos de impacto científico, tecnológico y social. El CEUNIM tiene como objetivos:

- Estimular y promocionar proyectos de investigación, desarrollo y transferencia, de carácter interdisciplinario, en el área de las imágenes médicas.
- Propiciar la formación de recursos humanos especializados en la física, la tecnología de la obtención y tratamiento de las imágenes médicas y sus aplicaciones. La propuesta implica brindar apoyo a la docencia de pregrado, grado y posgrado de la UNSAM y a aquellas de otras instituciones que así lo requieran o surjan de convenios específicos.
- Ofrecer cursos extracurriculares, seminarios, foros de discusión y toda forma de difusión tanto de los fundamentos técnicos de las nuevas modalidades como de los aspectos médicos ligados.
- Encarar vinculaciones con otros institutos o centros de investigación a fin de contribuir a la creatividad al desarrollo de acciones y proyectos de interés nacional o regional en el tema.
- Prestar servicios asistenciales, de prácticas específicas que requieran no solo un equipamiento determinado sino que también de la asistencia de recursos humanos interdisciplinarios altamente capacitados, por la especificidad del tratamiento de la información resultante

La construcción y el equipamiento del CEUNIM surgen de un acuerdo de colaboración entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). El Centro dependerá del área de Física Médica de la Escuela de Ciencia y Tecnología (ECyT) y formará parte del Plan Nacional de Medicina Nuclear “Nucleovida”

El edificio contará con una superficie de 1000 m² y estará desplegado en cuatro plantas: Un subsuelo donde estarán ubicados el ciclotrón, los laboratorios de radiofarmacia y control de calidad. En la planta baja funcionará la administración, la sala de computación, el salón de conferencias y la central de procesamiento de imágenes. En el primer piso se instalará el PET/CT y en el segundo piso funcionará el resonador magnético.

El resonador magnético de 3 Tesla (Siemens Prisma) será primero de su estilo en la Argentina y el tomógrafo por emisión de positrones y tomografía computada (PET/TC Philips Vereos) el primero en América Latina. Estos equipos llegarán al país a mediados de 2017. Hacia el final del mismo año, se calcula la llegada del ciclotrón y del equipamiento de radiofarmacia. En la **Figura 41** se muestra la fachada del edificio que se ubicará en el predio de la Universidad Nacional de San Martín.



Figura 41: Centro Universitario de Imágenes Médicas.

Teniendo en cuenta que el edificio se encuentra en construcción y no contó con una planificación previa de necesidades en materia de comunicaciones, se deberá dimensionar adecuadamente la infraestructura incluyendo herramientas idóneas para su control y monitoreo, garantizando el correcto funcionamiento del servicio telefónico.

3.2 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

En varias oportunidades se llevaron a cabo reuniones con los interesados con la finalidad de realizar un estudio de necesidades y problemáticas a tener en cuenta. En este caso, se requiere una contar con una solución de telefonía de calidad para el Centro Universitario, con alta disponibilidad y confiabilidad plena del servicio. A continuación se presentan los requerimientos tomados como punto de partida para el diseño de la solución:

- El costo de la implementación debe ser el menor posible.
- Deben permitirse establecer comunicaciones internas y externas.
- Debe estar dimensionado para 29 personas, en principio.
- La solución debe ser escalable y fácilmente administrable.
- Deberá contarse con una central telefónica propia e independiente.
- Resultaría interesante que la solución pueda ser vinculada mediante un enlace con la red telefónica de la UNSAM.
- Se requiere un plan de numeración y direccionamiento.
- Se debe prestar un servicio de calidad a los usuarios finales.
- Los terminales de usuario deben ser de gama media.
- Resulta interesante la utilización de softphones en celulares y tablets.
- El servicio debe estar disponible las 24 horas.
- Debe brindar estadísticas de consumo.
- Debe contar con funcionalidades y aplicaciones como captura y colas de llamadas, correo de voz, música en espera y conferencias, entre otras.
- Deberá contar con un pre atendedor de llamadas para dar turnos e informar a los pacientes sobre los estudios médicos que allí se realizarán.

A priori, el CEUNIM estará integrado por 29 personas distribuidas como muestra la **Figura 42**.

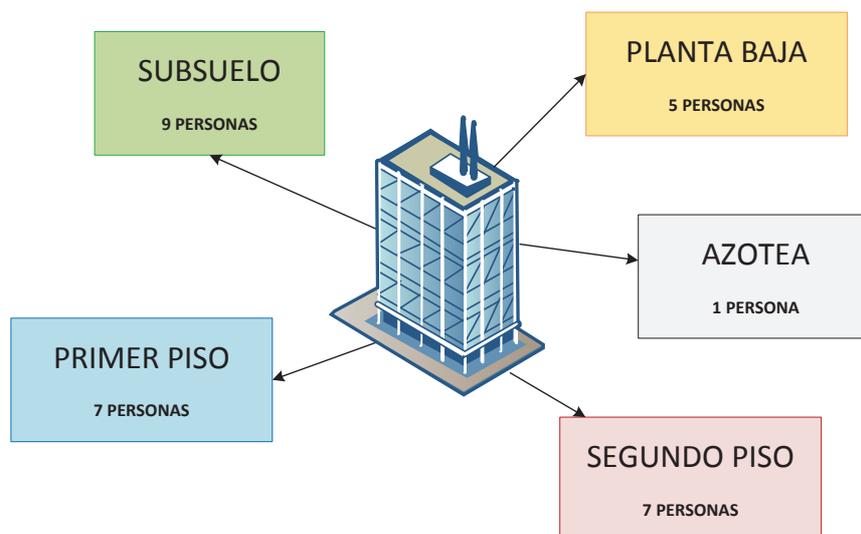


Figura 42: Distribución del personal del CEUNIM.

La solución presentada a continuación estará dimensionada para un mínimo de 40 extensiones, entendiendo que puede existir un posible crecimiento y todos los empleados del CEUNIM contarán con un teléfono IP. Esto dependerá del presupuesto disponible al momento de la compra, en caso de ser necesario, se podrán reducir costos teniendo en cuenta que dos usuarios podrán compartir un mismo equipo si sus prestaciones lo permiten.

3.3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

El primer paso para realizar el dimensionamiento de la red se basa en el cálculo teórico del ancho de banda requerido para tráfico interno, el cálculo de líneas telefónicas para tráfico externo y la elección del códec más adecuado para la transmisión sobre la red de datos. Se planteará un modelo de tráfico que permita calcular la cantidad de circuitos telefónicos requeridos para abastecer a los 29 usuarios en hora pico. Para realizar estos cálculos, se necesita información sobre el flujo de llamadas. Al no contar con esta información, trabajaremos con valores típicos de consumo, cumpliendo con los requerimientos propuestos y dando lugar a un crecimiento futuro del servicio.

3.3.1 Tráfico Externo

Para conocer la cantidad de líneas externas requeridas es necesario estimar el tráfico ofrecido y definir una probabilidad de bloqueo. Se utilizará el modelo de Erlang, ampliamente utilizado en el diseño de redes de telefonía. Se asume que el tráfico promedio típico por usuario corporativo varía entre 0.2 y 0.3 E. Para realizar los cálculos, tomaremos como referencia un valor de 0.2 E por usuario, recordando que la unidad Erlang se define como el uso de una línea telefónica en el lapso de 60 minutos en hora pico. La probabilidad de bloqueo se define como la probabilidad de que al querer realizar una llamada, todas las líneas se encuentren ocupadas. El número de líneas telefónicas se puede calcular a partir de valores tabulados, o bien existen muchos sitios en Internet que permiten realizar dichos cálculos.

El CEUNIM contará con 29 personas. Estimando que cada empleado ofrecerá un tráfico de 0,2 E y definiendo una probabilidad de bloqueo del 1% alcanzamos un total de 5,8 E. Utilizando la herramienta “Erlang B Calculator” disponible en www.erlang.com se obtienen los resultados mostrados en la **Figura 43**.

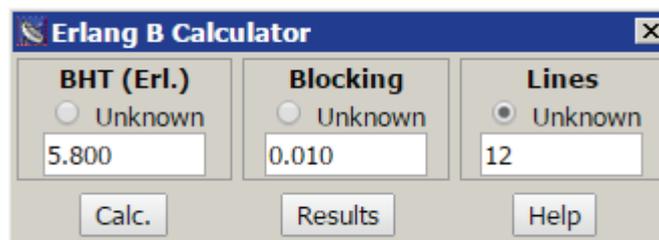


Figura 43: Cantidad de líneas telefónicas externas requeridas.

Considerando un margen para crecimiento futuro, la cantidad de líneas externas se dimensionarán asumiendo un tráfico ofrecido de 8 E. Esto es igual

40 usuarios ofreciendo un tráfico de 0,2 E. Como muestra la **Figura 44**, se requiere contar con 15 líneas telefónicas para satisfacer el tráfico en la hora de mayor ocupación.

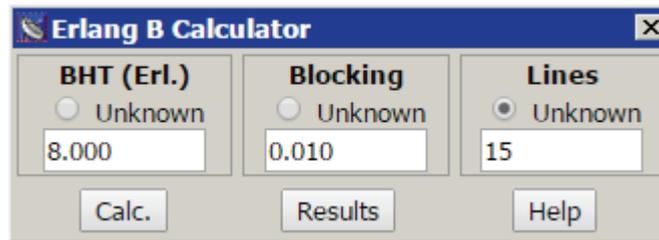


Figura 44: Cantidad de líneas telefónicas externas requeridas asumiendo una proyección de crecimiento.

Una opción para lograr la vinculación de las centrales telefónicas privadas con la red PSTN son las tramas E1 de 2 Mbps (30 canales telefónicos digitalizados a 64 Kbps y 2 canales de señalización). Consiste en una conexión o vínculo digital desde una central pública de la empresa proveedora a una central privada, en este caso la correspondiente al CEUNIM. Permite comunicarse directamente con un interno del sitio y recibir comunicaciones simultáneas sobre el mismo número. Es igual que contar con líneas telefónicas independientes, a un costo menor y con la ventaja de integrarlas en un único servicio. Comercialmente las empresas ofrecen distintas modalidades básicas en función de las necesidades de comunicación, como se muestra en la **Figura 45**.

Capacidad	Llamadas simultáneas	Números integrados
30 canales	30 llamadas	100 números DID
15 canales	15 llamadas	50 números DID

Figura 45: Servicio de acceso troncal digital.

Si se cuenta con una central telefónica de mediana escala, se acostumbra contratar una cantidad de líneas telefónicas que se asocian a un único número. Al llamar desde el exterior a este número, la llamada podrá ser contestada por un mensaje de bienvenida (IVR) indicando que se disque el número de extensión o bien podrá ser contestada directamente por una operadora, quien transferirá la llamada a la extensión correspondiente. Otra posibilidad es contratar un rango de números consecutivos, de esta forma cada extensión puede recibir llamadas mediante un número directo, y no necesariamente pasar por conmutador o la operadora. Este sistema se conoce como DID (Direct Inward Dialing).

Para llamadas salientes, por lo general se marca un código de acceso configurable (típicamente 9 o 0) permitiendo abrir y conmutar una línea externa libre. Una vez marcado el código, se escuchará el tono de marcado que corresponde a la línea externa. Si se cuenta con un enlace digital, la central telefónica simula dicho tono, para posteriormente enviar la solicitud a la red PSTN luego de discar todos los dígitos. Las llamadas internas son gratuitas, y son cursadas mediante central telefónica instalada en el sitio. El usuario marca directamente la extensión deseada sin pasar por ninguna línea externa.

El plan de numeración es configurable por el administrador de la red telefonica del sitio y será presentado en las proximas paginas.

A cada interno del CEUNIM se le asignará un número integrado convirtiéndolo en una línea privada. Las líneas telefónicas funcionarán de forma independiente unas de otras, pero estarán integradas en un único servicio, permitiendo a la persona que llama acceder a cualquier interno de forma directa y sin pasar por una operadora. En función de las necesidades futuras, es posible cambiar la configuración del servicio, agregando facilidades y ampliando el número de canales. En la **Figura 46** se muestra un esquema de interconexión con la red PSTN. Para llevarlo a cabo será necesario cierto hardware que funcionará como gateway o pasarela.

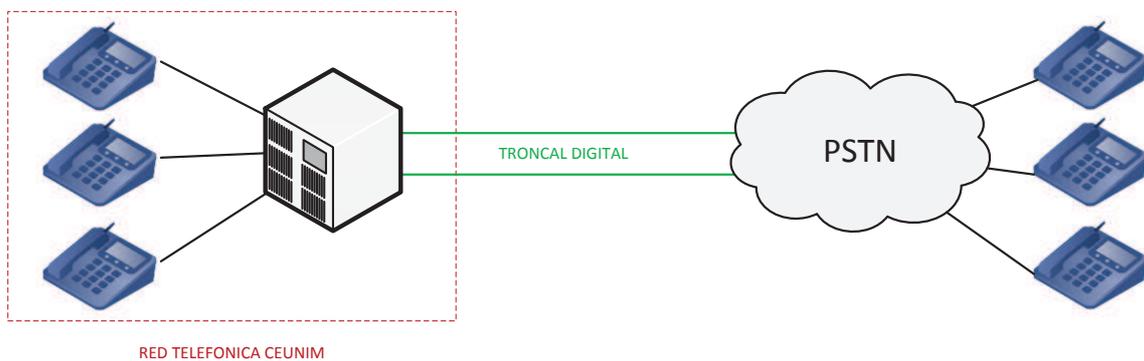


Figura 46: Interconexión con red PSTN

Otra alternativa para lograr la interconexión con la red PSTN son los troncales SIP, que se han convertido en un servicio ofrecido por muchos proveedores de telefonía posibilitando la conexión de una central telefónica privada con la red PSTN a través de Internet. Los números telefónicos y DID son enlazados al troncal SIP. Esta modalidad hace que el costo mensual en llamadas se reduzca y es muy conveniente cuando se requieren comunicaciones internacionales. Al contratar este servicio, es necesario contar con buenas políticas de seguridad para evitar ataques informáticos. Esta alternativa ha crecido en los últimos años, como muestra la **Figura 47**.

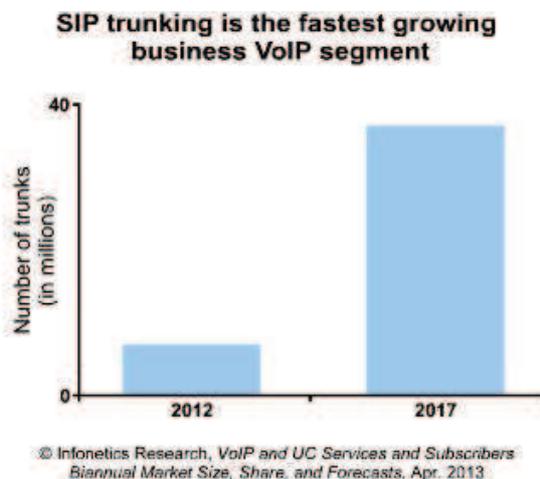


Figura 47: Crecimiento de los troncales SIP en el mercado VoIP.

3.3.2 Codecs y tráfico interno

Es necesario calcular el ancho de banda requerido por el servicio para transportar paquetes VoIP sobre la red. Para ello, se deben conocer estimativamente la cantidad de llamadas simultáneas que se podrán cursar considerando un posible crecimiento a futuro. Además, se debe conocer el ancho de banda requerido por llamada. Esto se relaciona directamente con el códec a utilizar y su capacidad de compresión, entre otros parámetros. En el Capítulo 2 (Teoría y Tecnologías), se estudiaron los codecs más utilizados y a continuación se optará por el más adecuado para nuestro caso de estudio.

El códec G.729 se destaca por su gran compresión aunque requiere un importante consumo de CPU. Su desventaja es que se encuentra bajo licencia y se debe pagar por el uso de cada canal. Dado que uno de los requerimientos del cliente fue minimizar los costos, su implementación será descartada. Hemos decidido utilizar el códec G.711 que ofrece una excelente calidad de voz y no cuenta con compresión de audio. Atento que el CEUNIM aún está en construcción y la red de datos será dimensionada para altos niveles de tráfico utilizando equipamiento de networking con interfaces de 1000 Mbps y cableado estructurado categoría 6A, este códec será perfectamente soportado y garantizará la calidad de voz requerida con un MOS de 4,2. Para hallar el ancho de banda necesario debe recordarse que una trama Ethernet se compone de una cabecera de 18 bytes. Dentro del payload, se encapsulan las cabeceras de los protocolos IP, UDP y RTP adicionando otros 40 bytes. El periodo típico de trama del protocolo G.711 es de 20 milisegundos. Teniendo en cuenta que la tasa de bits es 64 Kbps, en una trama se obtienen 160 bytes de voz. Sumando los bytes añadidos por las cabeceras se alcanzan 218 bytes o bien 1744 bits. Sabiendo que se generan 50 tramas por segundo, será necesario un ancho de banda de 87,2 Kbps por canal. El caso extremo podría considerarse cuando se tienen 15 llamadas internas simultáneas, por lo tanto se necesitará un ancho de banda mínimo de 1,3 Mbps destinado a VoIP, como se observa en la **Figura 48**.

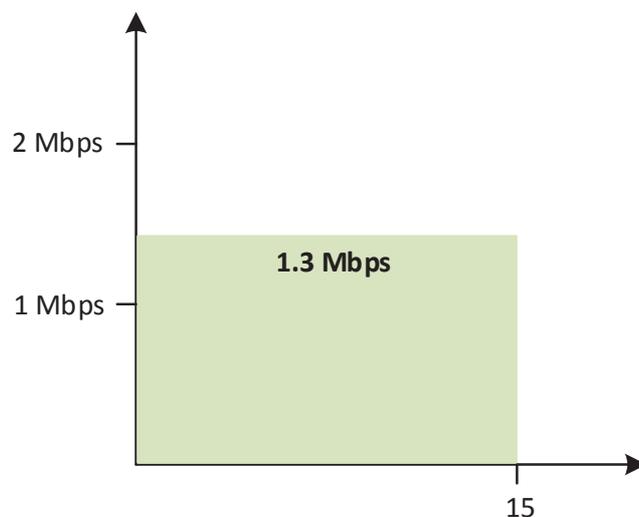


Figura 48: Ancho de banda requerido para cursar 15 llamadas internas simultáneas.

3.3.3 Protocolo de señalización

Para realizar el diseño de la solución, es necesario definir el protocolo de señalización a utilizar debido a que cada protocolo tiene una arquitectura específica y se requieren distintas necesidades de hardware en cada caso. Como se estudió en el Capítulo 2 (Teoría y Tecnologías) los más populares son H.323 y SIP.

El protocolo H.323 fue el pionero en transmisión de multimedia, haciendo hincapié en la calidad de servicio. Es un protocolo complejo frente a SIP, que ofrece simplicidad, seguridad, flexibilidad, escalabilidad y un excelente manejo de ancho de banda aunque presenta algunos problemas a la hora de atravesar firewalls. El uso del protocolo IAX2 es otra alternativa muy utilizada a la hora de enlazar centrales telefónicas pero no lo tendremos en cuenta dado que algunos equipos del mercado no lo soportan.

En conclusión, hemos decidido utilizar el protocolo SIP debido a su simplicidad, bajo costo de implementación, incorporación de métodos para minimizar los efectos de DoS (Denial of Service) y compatibilidad con la mayoría de los dispositivos. Entre otras ventajas se destaca la movilidad personal de los usuarios, la escalabilidad de la red y su facilidad de interacción con otros protocolos IP. Google Trends, herramienta de estadísticas, confirma la popularidad de este protocolo frente a H.323, como se observa en la **Figura 49**.



Figura 49: Popularidad del protocolo SIP frente a H.323.

3.3.4 Software

Como central telefónica se optará por la solución de código abierto basada en Asterisk dado que uno de los requerimientos del cliente fue minimizar los costos, evitando pagar licencias por uso y actualizaciones de software. Se requiere contar con un servidor compatible con Linux dimensionando correctamente sus componentes según el flujo de llamadas calculado. Se

decide implementar la plataforma de comunicaciones unificadas Elastix dado que es una de las soluciones más estables y dispone de todas las funcionalidades de las grandes centrales telefónicas propietarias como Cisco, Avaya, Alcatel y Siemens, entre otras. Puede dar servicio desde 10 hasta 10.000 usuarios ubicados en distintas sedes y funciona con tarjetas de interfaz PCI express y gateways de cualquier fabricante. Entre sus ventajas, incorpora la mayoría de los estándares de telefonía existentes permitiendo la interconexión con la red PSTN y centrales analógicas tradicionales. Al detectarse cualquier fallo en el software, es rápidamente publicado en foros y su solución aparece en la web en cuestión de horas. Existen otras distribuciones de este tipo, como FreePBX, TrixBox y Asterisk Now. Sus funcionalidades serán presentadas y comparadas en el Capítulo 4, justificando la elección de Elastix. Todas utilizan Asterisk como base para montar el resto de la experiencia para el usuario. Elastix cuenta con una amplia comunidad en la web para realizar consultas e intercambiar experiencias. Es posible añadirle módulos adicionales (addons) para hacer crecer sus funcionalidades y cuenta con una interfaz gráfica muy intuitiva y de fácil administración. La compañía fabricante de Elastix ofrece además un servicio de soporte remoto en caso de requerir cambios en la configuración, diagnóstico de fallas y solución de problemas. El formato es web chat y se contrata por horas de soporte. Su precio es variable dependiendo la cantidad de horas contratadas y si la atención es extensible a todos los días del año las 24 hs.

3.3.4.1 Elastix

Es una plataforma de comunicaciones unificadas open source que integra funcionalidades de PBX (Private Branch Exchange), fax, e-mail y mensajería instantánea, entre otras. Para ello se basa en Asterisk, Hylafax, Postfix y Openfire. Utiliza CentOS como sistema operativo, una distribución Linux orientada a servidores. Actualmente se encuentra en vigor la versión 2.5.0 de Elastix. En la **Figura 50** se pueden observar sus componentes.

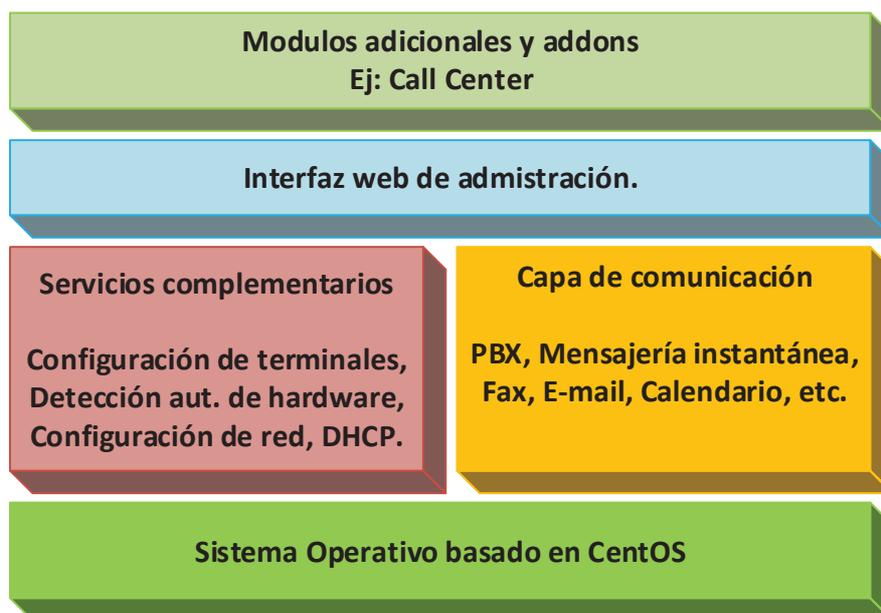


Figura 50: Componentes de Elastix.

Elastix fue creado por la firma PaloSanto y lanzado en 2006. Actualmente es una de las distribuciones más elegidas por los usuarios dado que ofrece un entorno gráfico intuitivo diseñado para que cualquier usuario con conocimientos básicos pueda administrarlo. Asterisk requiere habilidades de programación avanzadas. Como central telefónica, permite gestionar llamadas telefónicas internas en una empresa, y compartir las líneas de acceso a la red PSTN entre varios usuarios, permitiendo que estos realicen y reciban llamadas desde y hacia el exterior. Se distribuye bajo licencia GPL es decir que puede ser utilizado, copiado, estudiado, modificado y redistribuido libremente según los lineamientos de esta licencia. Cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Correo de voz web o vía email.
- Grabación de llamadas.
- IVR altamente flexible.
- Parqueo de llamadas.
- Colas de atención.
- Caller ID.
- Horarios de atención.
- Provisión automática de teléfonos vía Web.
- Creación de lotes de extensiones.
- Soporte para video vía protocolos H.263 y H.264.
- Detección automática de hardware de telefonía.
- Servidor DHCP embebido.
- Reporte de llamadas (CDR).
- Tarifación.
- Reporte de uso de canales.
- Soporta protocolos SIP, IAX, H.323, MGCP, entre otros.
- Soporta códecs G.711, G.722, G.723.1, G.726, G.729, GSM e iLBC.
- Soporte para interfaces analógicas FXS/FXO.
- Soporte para interfaces digitales E1/T1/J1.
- Soporte para grupos de troncales.
- Follow-me y grupos de llamada

Incorpora un sistema para envío y recepción de fax. El software está basado en una arquitectura cliente-servidor. Hylafax actualmente es el servidor de fax líder para sistemas de tipo Unix y además es un sistema open source. Brinda las siguientes funcionalidades:

- Servidor de Fax administrable desde Web.
- Visor de fax integrado con descargas en PDF.
- Integración fax-email.
- Envío de fax vía Web.
- Control de acceso para clientes de fax.
- Permite imprimir fax desde Windows.

Como servidor de correo electrónico incorpora Postfix, otorgando las siguientes funcionalidades:

- Servidor de e-mail con soporte multidominio administrable vía Web.
- Módulo SMTP remoto.

- Configuración de relay.
- Cliente de Email basado en Web.
- Lista de e-mail.
- Soporte anti spam.

Utiliza Openfire como servicio de mensajería instantánea basado en el protocolo XMPP de código abierto. Cuenta con siguientes características:

- Llamada vía PBX a usuarios conectados.
- Configuración desde la web.
- Interconexión simultánea con Yahoo, MSN Messenger y Hangouts.
- Soporta conexiones server-to-server para compartir usuarios.
- Reporte de sesiones de usuarios.
- Soporte para plugins.
- Soporte para LDAP.

Elastix, cuenta además con las siguientes funcionalidades extra:

- Interfaz de calendario vía Web.
- Recordatorios de voz.
- Envío de invitaciones a eventos vía email.
- Libreta telefónica.
- Soporte para conferencias de audio configurable vía Web.
- Implementación de Call Center.
- Ayuda en línea.
- Interfaz Web con soporte multilinguaje.
- Visualización del sistema vía Dashboard.
- Configuración de parámetros de red.
- Configuración de usuarios y permisos.
- Configuración de temas o skins.
- Actualización centralizada de software.
- Apagado y encendido remoto vía Web.
- Visualización del sistema en tiempo real.

3.3.5 Hardware

La elección del software Elastix nos permite contar con las funcionalidades de una central telefónica a costo cero. Adicionalmente será necesario invertir en teléfonos IP y en principio una placa de interfaz o gateway dedicado a la interconexión con la red PSTN. El software y la placa deberán instalarse en un servidor con ciertas características. Una alternativa de ahorro es implementar softphones instalados en las computadoras de los usuarios donde únicamente deberían añadirse auriculares y micrófono. En este caso no fue requerido por el cliente, quien optó por teléfonos físicos. Como se explicó anteriormente, como alternativa para la interconexión con la red PSTN puede hacerse uso de troncales SIP. Este servicio es ofrecido por muchas compañías que brindan líneas telefónicas por medio de enlaces de datos o Internet. De esta manera se ahorra el costo de la placa de interfaz o gateway E1/T1.

3.3.5.1 Servidor

El servidor donde se montará el software y sus prestaciones dependen de la cantidad de llamadas simultáneas requeridas. En el caso de una pequeña empresa o PyME, puede hacerse uso de una computadora con cualquier procesador Pentium, 512 MB de memoria RAM, disco duro de 40 GB y cualquier tarjeta de red. Esta modalidad no es aconsejable en grandes empresas dado que las computadoras hogareñas pueden presentar problemas y fallas en sus componentes como disco duro, coolers y fuentes de alimentación a causa del uso prolongado. También puede instalarse una máquina virtual si se dispone de un servidor en la empresa, aunque de esta forma no se tendrá un equipo dedicado exclusivamente a la central telefónica.

En instalaciones con más de 25 extensiones y conexiones E1/T1 como nuestro caso, los requisitos son mayores y se recomienda que el servidor sea un hardware dedicado. Para ello se debe contar con un procesador adecuado para soportar llamadas concurrentes, conocer el porcentaje de procesamiento que requiere el códec a utilizar, la complejidad del plan de marcado, la versión de Linux y otros procesos que se ejecuten paralelamente.

Se recomienda instalar un servidor con fuente de alimentación redundante, para garantizar su funcionamiento y evitar posibles fallas. Según la aplicación, se debe dimensionar el hardware teniendo en cuenta ciertos parámetros, como velocidad del procesador, memoria RAM y disco duro, como se muestra en la **Figura 51**.

Propósito	Usuarios	Requerimientos mínimos
Hogareño	5 a 10 usuarios	Procesador 1GHz, 512MB RAM
Pequeña empresa	Menor a 25 usuarios	Procesador 3GHz, 1GB RAM
Mediana empresa	Menor a 100 usuarios	Dual Core 2GHz, 4GB RAM.
Grandes empresas	Mayor a 100 usuarios	Quad Core, 4GB RAM
	Mayor a 500 usuarios	Cluster de servidores con arquitectura distribuida.

Figura 51: Requerimientos mínimos del servidor.

3.3.5.2 Placas de interfaz

Será necesario equipar la central telefónica con tarjetas que soporten conexiones de tipo E1 para lograr la interconexión con la red PSTN proponiendo adicionalmente la utilización de una placa de interfaz GSM como enlace de respaldo ante fallas del principal. Elastix permite integrar tarjetas de interfaz de múltiples fabricantes. Se aconseja además instalar un módulo cancelador de eco, comúnmente integrado en las tarjetas del mercado para reducir dicho fenómeno.

Elastix cuenta con el programa EHCP (Elastix Hardware Certification Program) que permite a los fabricantes de hardware de telefonía llevar a cabo un proceso para probar e inspeccionar su hardware con el objetivo de verificar que sus productos funcionen perfectamente con Elastix. Los usuarios pueden revisar un listado del hardware de telefonía que soporta y obtener información técnica sobre instalaciones y guías de configuración. El listado de empresas fabricantes compatibles con Elastix se muestra en la **Figura 52**.

2N	Digium	Nicherons	Tainet
Akuvox	Dinstar	OpenVox	Telefield
Alcatel	Escene	PaloSanto Solutions	Topex
Allo	Fanvil	Patton	Ubiquiti
Atcom	Flying Voice	Polygator	Voptech
AudioCodes	Grandstream	RCA	Xorcom
AVer	Hanlong	Sangoma	Yealink
beroNet	incom	Snom	Yeastar
CyberData	Khomp	Surix	YX Wireless
Damall	MatrixComSec	Synway	Zycoo

Figura 52: Empresas fabricantes compatibles con Elastix.
Extraído de www.elastix.org

3.3.5.3 Teléfonos IP y softphones

Según requerimientos del cliente, los terminales deberán ofrecer como mínimo las siguientes presentaciones:

- Al menos dos cuentas SIP, esto permitirá utilizar dos extensiones en un mismo dispositivo.
- Al menos 2 teclas programables.
- Pantalla LCD.
- Opción de llamada en espera y conferencia.
- PoE (Power Over Ethernet).
- Altavoz.
- Manos libres.
- Puertos Ethernet dobles de 10/100/1000 Mbps con detección automática.

Los softphones aportan ventajas en relación a costos, pero no son recomendables en entornos profesionales salvo para usos eventuales debido a las siguientes razones:

- La PC debe estar encendida para poder realizar o recibir llamadas.
- Debe utilizarse con auriculares y micrófono conectados a la PC.
- La calidad de la voz se ve afectada por distintas causas, entre ellas no es posible priorizar el tráfico de voz dado que se utiliza misma red de datos.
- Pueden presentarse problemas de configuración dependiendo el sistema operativo de la PC en cuanto a seguridad y Firewall.

Por estas razones, para cumplir con los requerimientos del cliente y garantizar la calidad de las comunicaciones, se recomienda utilizar teléfonos IP físicos. Los softphones podrían ser implementados en teléfonos celulares o tablets accediendo a la red de telefonía mediante una conexión Wi-Fi.

3.3.6 Requerimientos de la red

A la hora de implementar una solución VoIP deben tenerse en cuenta algunas recomendaciones. Para garantizar la calidad de las llamadas, es necesario separar el tráfico de voz en un dominio de broadcast independiente del tráfico de datos. Esto se logra mediante la implementación de VLANs (IEEE 802.1q) en los switch de piso.

Se recomienda además, utilizar las capacidades de QoS de la infraestructura de red, priorizando el tráfico de la VLAN de voz sobre cualquier otro tráfico para minimizar los efectos del retardo, jitter y pérdida de paquetes, parámetros que perjudican a las señales de tiempo real. La velocidad y el ancho de banda que proporcione la red estarán estrechamente relacionados con el rendimiento de la solución VoIP, para ello el edificio deberá contar con cableado categoría 6A y el equipamiento de networking instalado deberá tener la capacidad de priorizar el tráfico de voz.

Los teléfonos IP requieren alimentación eléctrica, para ello se puede utilizar un transformador por cada teléfono o bien se acostumbra utilizar una tecnología que permite alimentar el teléfono desde el switch de piso a través del cableado estructurado. Se denomina PoE (Power over Ethernet) y permite que cualquier dispositivo que disponga de conexión a la red de datos cuente con la alimentación necesaria para su funcionamiento a través de un único cable. Inicialmente fue una tecnología propietaria diseñada por Cisco, pero actualmente está estandarizada (IEEE 802.1ab) y es soportada por la mayoría de fabricantes de equipamiento de networking.

En el caso del CEUNIM, se requiere contar con teléfonos IP físicos, por lo tanto la infraestructura de red debe estar correctamente dimensionada para brindar un servicio de calidad. Existe la posibilidad de conectar dispositivos a la red de forma inalámbrica a través de una red Wi-Fi que contenga la VLAN de voz, sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayoría de los equipos Wi-Fi no son capaces de priorizar el tráfico, causando retardos y pérdida de paquetes.

Existen dos formas de instalar teléfonos y PCs en una red. La convencional, donde se utiliza un puerto para cada dispositivo, utilizando dos bocas de red por usuario. La otra opción posible, es utilizar un solo puerto para ambos dispositivos dado que los teléfonos IP cuentan con un puerto que permite conectar una PC, compartiendo la conexión Ethernet y manteniendo las redes separadas por VLANs. De esta forma se reducen a la mitad las bocas operativas en los switch de piso y los metros de cableado estructurado hasta los puestos de trabajo. Cabe destacar que los teléfonos IP deberán contar con puertos Ethernet aptos para 10/100/1000Mbps. Las alternativas de conexión se muestran en la **Figura 53**.

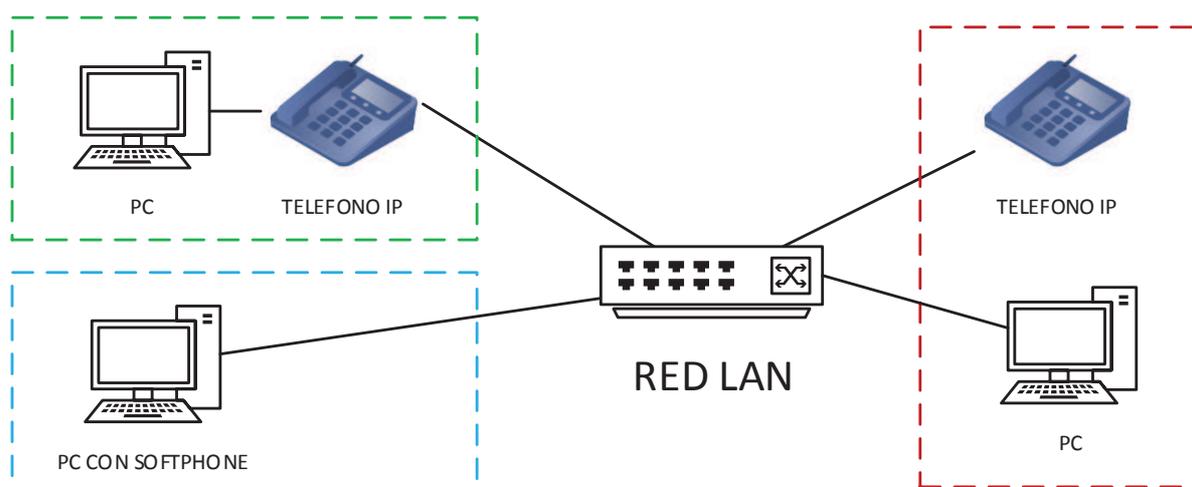


Figura 53: Conexión de teléfonos IP a la red.

Los puntos de red deben estar conectados contra un patch panel ubicado en un armario o rack de piso, donde también se ubicará un switch. Para la interconexión entre el patch panel y el switch se recomienda utilizar cable tipo patch cord categoría 6A. Los puestos de red deben ser verificados y certificados. Se recomienda que cuenten con el etiquetado correspondiente para facilitar su localización. Los switch de piso deberán estar interconectados entre sí. Si la infraestructura de red no cumple con estas especificaciones, no se podrán suministrar servicios de telefonía IP ya que se presentarán problemas en las comunicaciones. En caso que se requiera interconectar la central telefónica con otra ubicada en otro sitio, como la correspondiente a la Universidad Nacional de San Martín será necesario cumplir con los parámetros de calidad de servicio estudiados en el Capítulo 2 - Teoría y Tecnologías y se recomienda que el enlace cuente con un ancho de banda de 2 Mbps.

3.3.7 Direcccionamiento IP y plan de numeración

La configuración de red puede realizarse considerando que cada teléfono obtendrá su dirección IP mediante el protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) o bien puede realizarse una asignación de dirección IP estática. Al utilizar DHCP, cada teléfono obtiene una dirección IP automáticamente. Elastix incluye un servidor DHCP embebido que puede activarse desde la interfaz web. Si se opta por una asignación estática, se podrá contar con un registro que incluya la dirección IP de cada teléfono y cada dispositivo podrá colocarse en un segmento específico de la red en caso de requerirse. Al momento de configurar los teléfonos, la dirección IP que se le asigne a cada uno debe ser única en la red, también debe ingresarse la máscara de red adecuada para permitir que el dispositivo se registre en la central telefónica y la puerta de enlace en caso de que los equipos se encuentren en distintos segmentos de red.

Un plan de numeración permite que los usuarios se comuniquen discando códigos que permiten encaminar las llamadas, facilitando el uso del servicio. Al diseñar un plan de discado, es necesario conocer el rango de números asignados por la empresa proveedora e intentar que sean concordantes con el plan de numeración interno.

Al intentar realizar una llamada externa, la configuración utiliza rutas que permiten definir si se trata de una llamada local, larga distancia nacional, celulares, emergencia o internacional para luego enrutarla por un enlace determinado. Usualmente se determinan rutas de menor costo, por ejemplo las llamadas a celulares se desvían a una placa de interfaz GSM, evitando que la llamada salga por la red PSTN. También es posible añadir restricciones a los usuarios, evitando que puedan realizar llamadas a todos los destinos. En nuestro caso, se definirán distintos grupos de usuarios pudiendo clasificarlos por su posición jerárquica y aplicar políticas en cada caso. Un usuario de alta categoría, podrá realizar llamadas internacionales, nacionales, locales, a teléfonos celulares y hacer uso de todas las funciones del servicio, mientras que si se trata de un empleado de menor categoría, podrán bloquearse las llamadas a ciertos destinos a criterio del cliente.

Internamente, se utilizarán números de 4 dígitos para identificar una extensión. Se recomienda que la numeración sea coincidente con la que brindará el operador de telefonía. Paralelamente se especificará un plan de direccionamiento IP estático asociado a dicha numeración.

El administrador de redes deberá brindar un rango de direcciones IP privadas que serán asignadas como se muestra en la **Figura 54**. En este caso tomaremos un rango de direcciones clase C.

La dirección de red utilizada para VoIP será 192.168.4.0/26. Por cuestiones de seguridad, es recomendable que el servidor Elastix se encuentre en otra subred manteniendo la visibilidad con los terminales de usuario, quedando a criterio del administrador de redes del edificio.

Asumiremos que el rango de numeración asignado por la empresa proveedora será de 50 números (4006-1700 al 4006-1749). Cada usuario podrá autenticarse con el servidor Elastix utilizando un teléfono IP, o bien por medio de una PC conectada a la red LAN utilizando un softphone.

	Usuario	Ubicación	Interno	Dirección IP
1	Ciclotrón	Subsuelo	1701	192.168.4.11
2	Electrónica Ciclotrón	Subsuelo	1702	192.168.4.12
3	Consola Ciclotrón	Subsuelo	1703	192.168.4.13
4	Consola Ciclotrón	Subsuelo	1704	192.168.4.14
5	Sala técnica	Subsuelo	1705	192.168.4.15
6	Despacho	Subsuelo	1706	192.168.4.16
7	Laboratorio RF	Subsuelo	1707	192.168.4.17
8	Calidad	Subsuelo	1708	192.168.4.18
9	Protección	Subsuelo	1709	192.168.4.19
10	Administrativo	Planta baja	1710	192.168.4.20
11	Administrativo	Planta baja	1711	192.168.4.21
12	Administrativo	Planta baja	1712	192.168.4.22
13	Administrativo	Planta baja	1713	192.168.4.23
14	Administrativo	Planta baja	1714	192.168.4.24
15	Administrativo	Planta baja	1715	192.168.4.25
16	Administrativo	Planta baja	1716	192.168.4.26
17	Administrativo	Planta baja	1717	192.168.4.27
18	Vigilancia	Planta baja	1718	192.168.4.28
19	Secretaria	Planta baja	1719	192.168.4.29
20	Secretaria	Planta baja	1720	192.168.4.30
21	Secretaria	Planta baja	1721	192.168.4.31
22	Inyecciones	Primer piso	1722	192.168.4.32
23	Sala Caliente	Primer piso	1723	192.168.4.33
24	Consultorio	Primer piso	1724	192.168.4.34
25	Despacho	Primer piso	1725	192.168.4.35
26	Enfermería	Primer piso	1726	192.168.4.36
27	Vigilancia	Primer piso	1727	192.168.4.37
28	Consola PET/CT	Primer piso	1728	192.168.4.38
29	Informes	Primer piso	1729	192.168.4.39
30	Informes	Primer piso	1730	192.168.4.40
31	Consultorio	Segundo piso	1731	192.168.4.41
32	Datacenter	Segundo piso	1732	192.168.4.42
33	Sala de reuniones	Segundo piso	1733	192.168.4.43
34	Sala de control	Segundo piso	1734	192.168.4.44
35	Sala de control	Segundo piso	1735	192.168.4.45
36	Informes	Segundo piso	1736	192.168.4.46
37	Informes	Segundo piso	1737	192.168.4.47
38	Mantenimiento	Terraza	1738	192.168.4.48

Figura 54: Plan de numeración y direccionamiento IP.

3.3.8 Funcionalidades adicionales

3.3.8.1 IVR

Para encaminar las llamadas, se utilizará un IVR (Interactive Voice Response). Cuando la central telefónica reciba una llamada externa, será reproducido un menú de opciones con un mensaje de bienvenida previamente configurado en la plataforma web Elastix. En la **Figura 55** se muestra el árbol IVR propuesto, teniendo en cuenta que la mayoría de las llamadas entrantes estarán relacionadas con pacientes que requieran información sobre los estudios médicos que se realizarán en el CEUNIM o bien soliciten turnos.

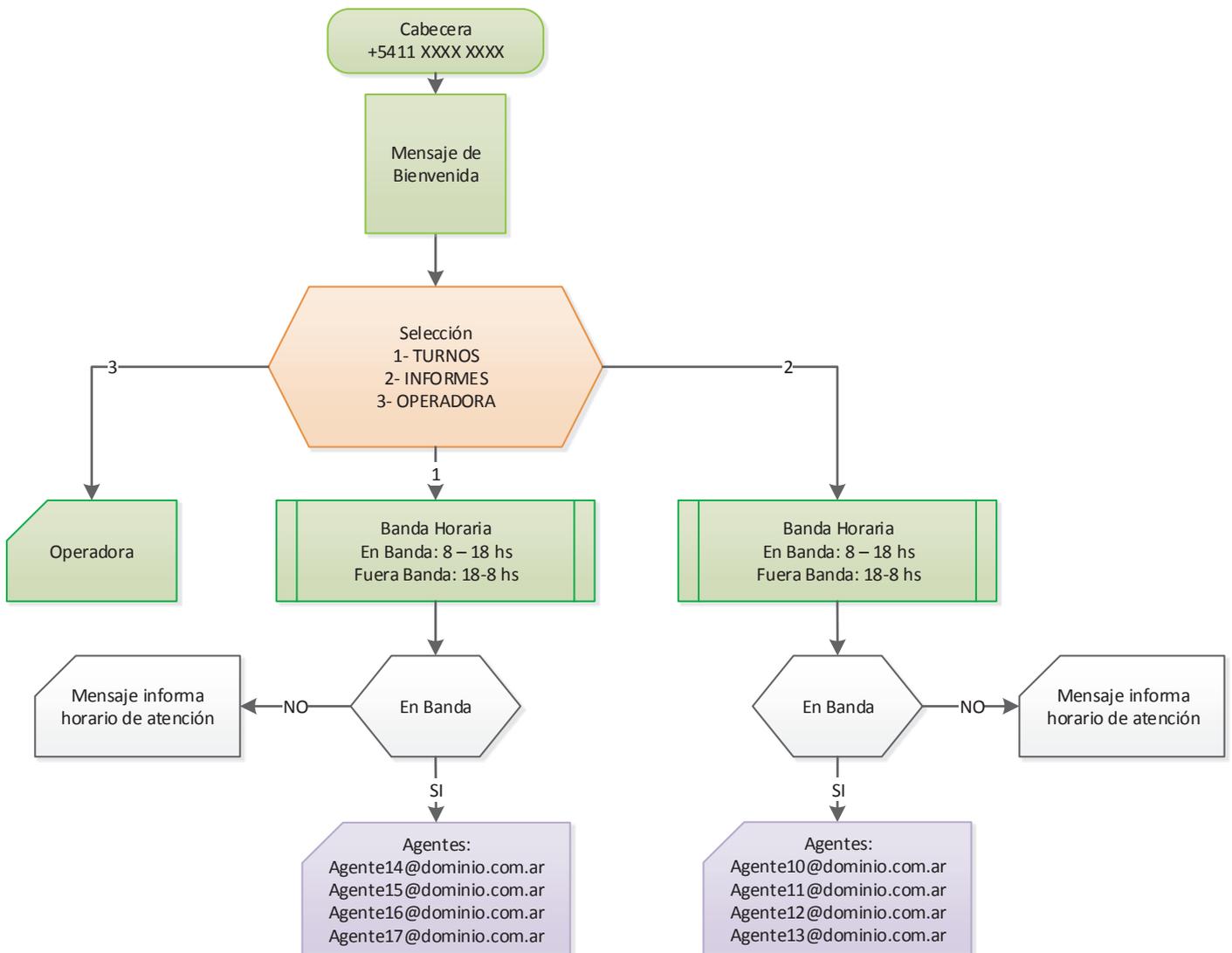


Figura 55: Árbol IVR de llamadas

Si se introduce un número fuera del intervalo se reproducirá el mensaje informativo indicando que la opción discada no es válida. Si las llamadas ingresan fuera de la banda laboral, se reproducirá un mensaje indicando el horario de atención telefónica.

3.3.8.2 Buzón de voz

Si el llamante intenta comunicarse con una extensión y ésta no contesta, la llamada será desviada a un buzón de voz previamente configurado. Aquí se podrá dejar un mensaje de voz y Elastix enviará un correo electrónico al usuario para avisarle que tiene nuevos mensajes. Este correo incluye un archivo adjunto con el mensaje de voz en un formato de audio especificado. Para configurar los buzones de voz de cada usuario, debe indicarse una cuenta de correo electrónico asociada y una contraseña para acceder a los mensajes.

3.3.8.3 Salas de conferencias

Se crearán tres salas de conferencias mediante la plataforma web de Elastix para lograr una comunicación entre múltiples usuarios. Para ingresar a una conferencia, los usuarios deberán marcar un número predefinido y una contraseña. En este caso, la sala número 100 sólo será accesible por los profesionales de radiofármacos y ciclotrón, la sala 200 por los profesionales médicos y físicos PET, y la sala 300 será accesible por los profesionales médicos y encargados del resonador magnético. Podrán configurarse otras salas si el cliente así lo requiere.

3.3.8.4 Cola de llamadas

En caso de requerirse, es posible implementar un sistema de solicitud de turnos, utilizando la funcionalidad dedicada a cola de llamadas que incluye Elastix. Los agentes que atienden las llamadas, se deberán registrar en una cola determinada y comenzarán a recibir llamadas por orden de llegada, muy similar al funcionamiento de un Call Center. Al momento de crear una cola, se debe asignar un número de cola, un nombre de identificación y una contraseña para que se registren los agentes, entre otros parámetros. Por ejemplo, si alguien intenta comunicarse con informes y no lo consigue, la llamada se mantendrá en espera hasta que sea atendida por otra extensión configurada en la cola de informes. En este caso, se creará una cola de llamadas para informes (Extensiones 1710, 1711, 1712 y 1713) y otra para turnos (Extensiones 1714, 1715, 1716 y 1717).

3.3.8.5 Ruteo de llamadas

Las rutas para llamadas salientes serán configuradas de tal forma que cuando un usuario marque 0 seguido de una cantidad de dígitos, sea un número fijo o un celular, la llamada será enrutada a través de los troncales definidos, como indica la **Figura 56**. Por otro lado, si el usuario marca 4, la llamada será encaminada hacia el enlace con la central telefónica de la UNSAM.

Será necesario configurar los patrones que deben cumplir los números para que sean enrutados por el troncal correcto. En nuestro caso, las llamadas a celulares serán cursadas automáticamente por la placa de interfaz GSM mientras que las llamadas a números fijos nacionales e internacionales por la placa de interfaz E1.

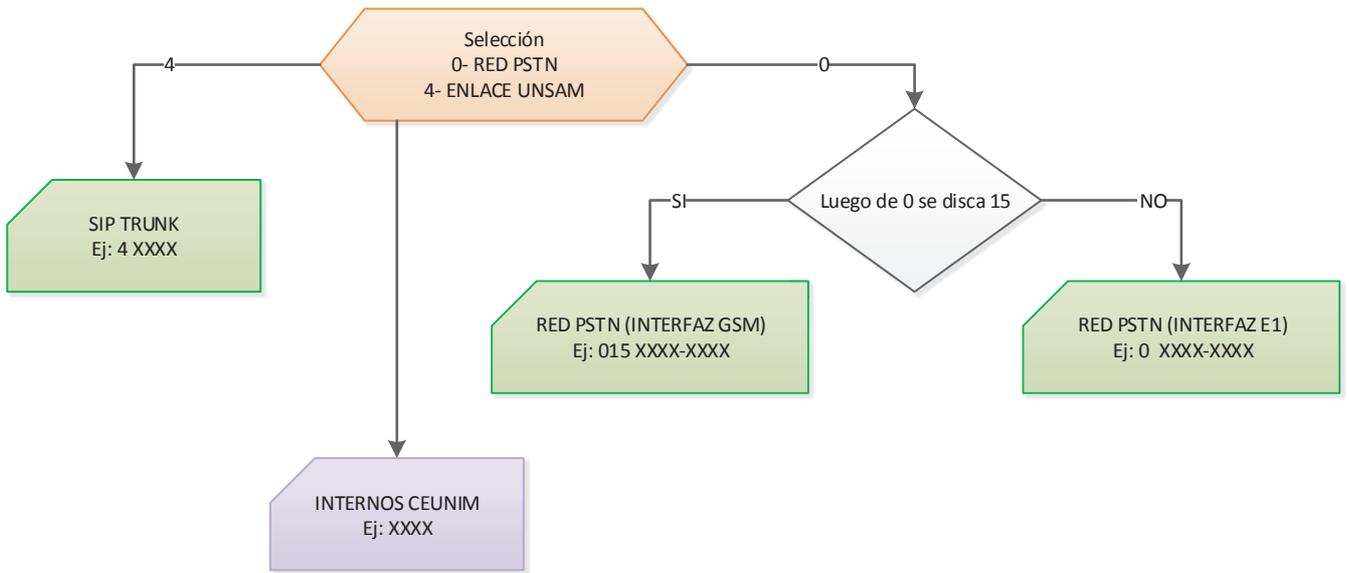


Figura 56: Arbol de ruteo de llamadas

3.3.9 Planos edilicios y ubicaciones

A continuación se definen las ubicaciones de puestos de trabajo en cada planta del edificio asumiendo una ocupación plena de los mismos.

Piso	Extensiones
Subsuelo	9
Planta baja	12
Primer piso	9
Segundo piso	7
Azotea	1
TOTAL	38

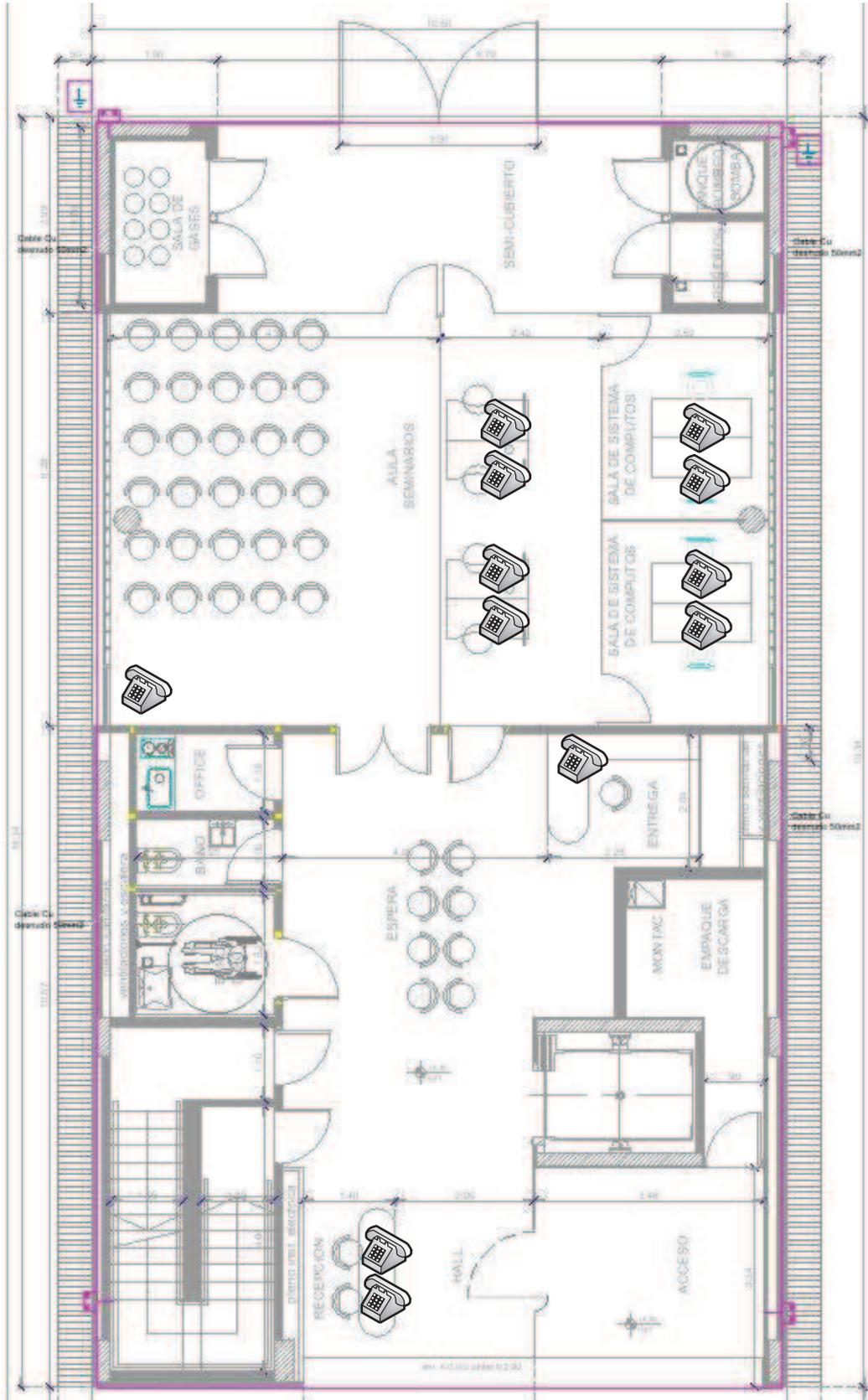


Figura 57: Ubicación puestos administrativos en planta baja.

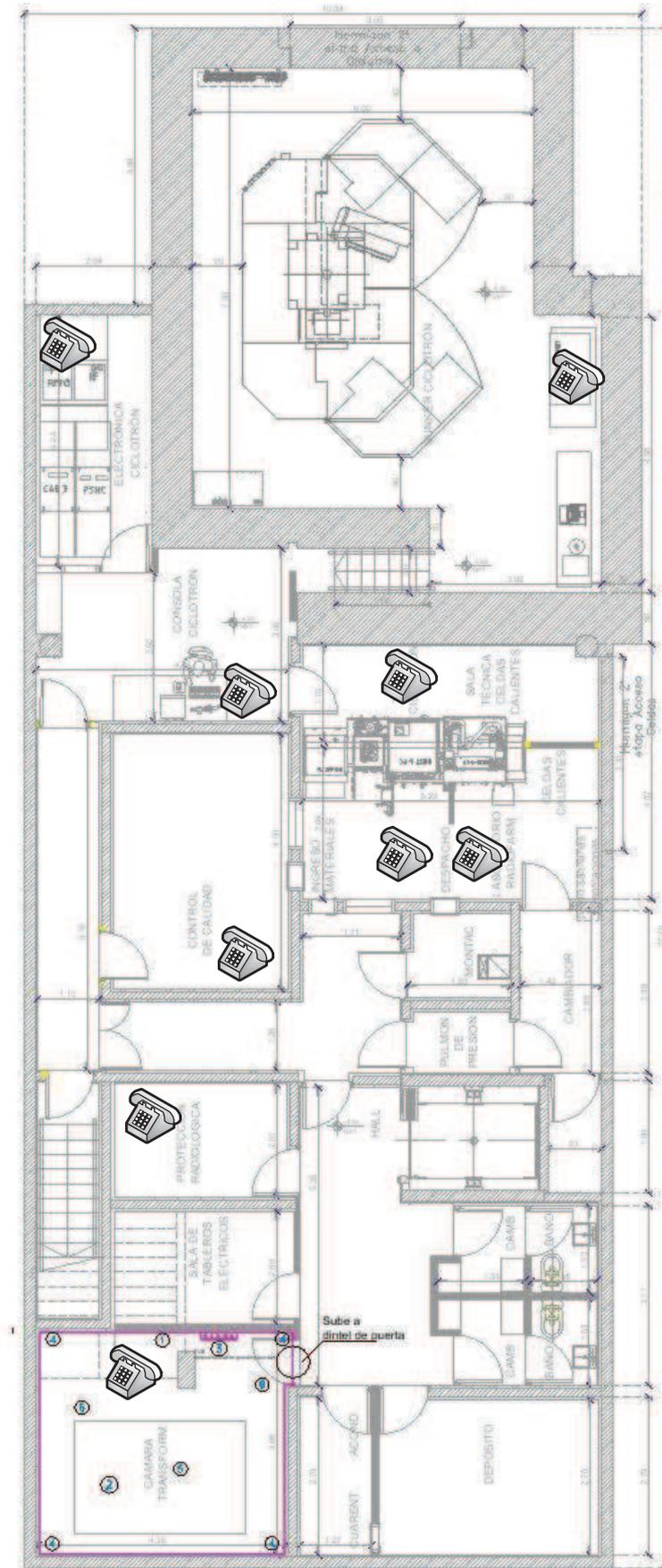


Figura 60: Ubicación puestos administrativos en subsuelo

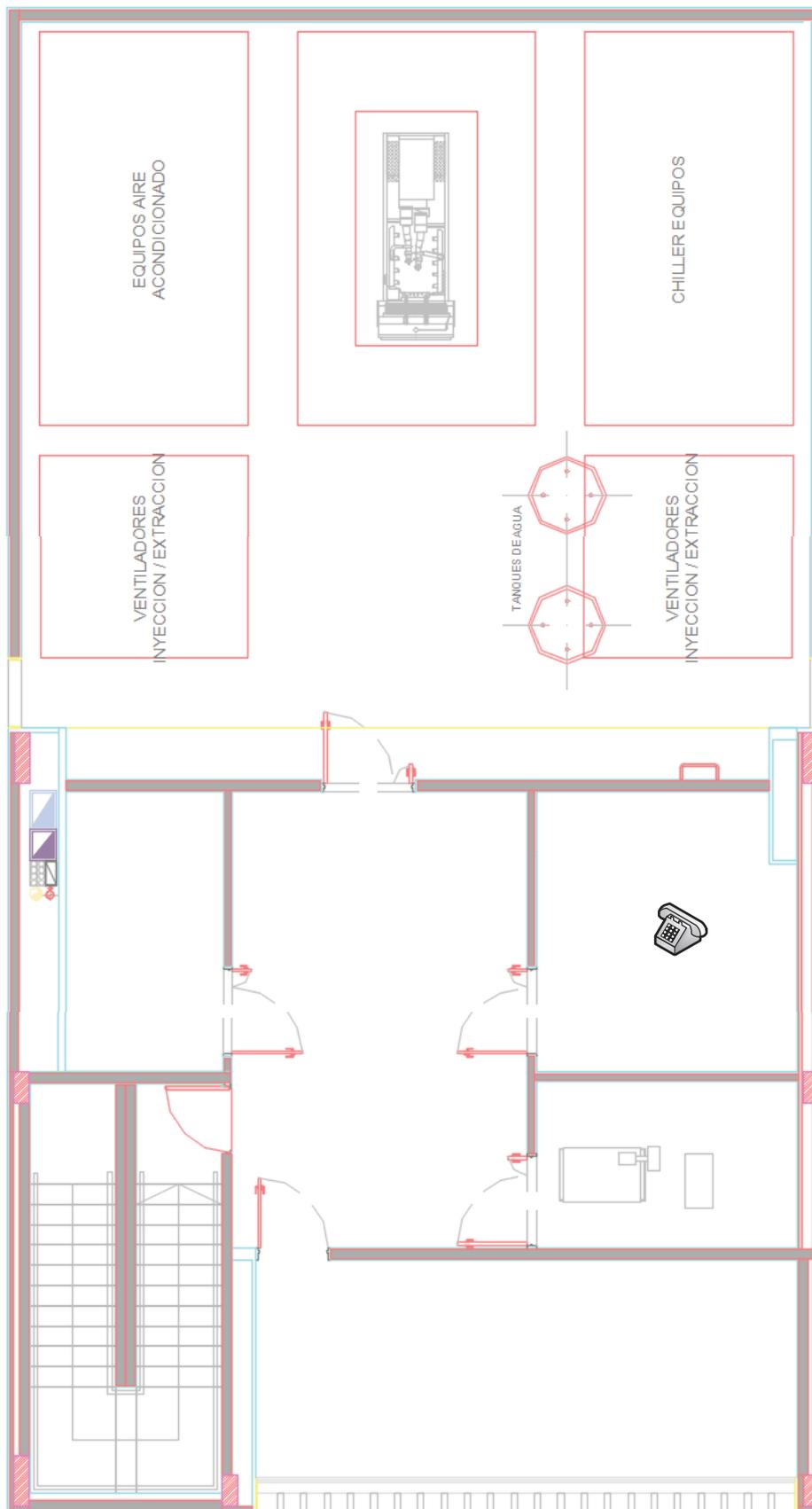


Figura 61: Ubicación puestos administrativos en azotea.

3.4 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

En este apartado, se verificará el funcionamiento del software de comunicaciones unificadas realizando una llamada de voz entre dos internos previamente configurados. Como primer paso fue necesario descargar la imagen (extensión .ISO) de Elastix 2.5.0 en <http://www.elastix.com/downloads/>. Al no contar con el servidor destinado a la instalación de Elastix en el CEUNIM, la experiencia se realizó en una PC de escritorio utilizando un software de virtualización. VirtualBox permite crear una PC virtual especificando sus prestaciones, en nuestro caso se utilizó 1GB de memoria RAM y 8GB de almacenamiento en disco. La máquina virtual, denominada “CEUNIM” deberá iniciar desde el archivo formato ISO descargado, como se muestra en la **Figura 62 y Figura 63**.

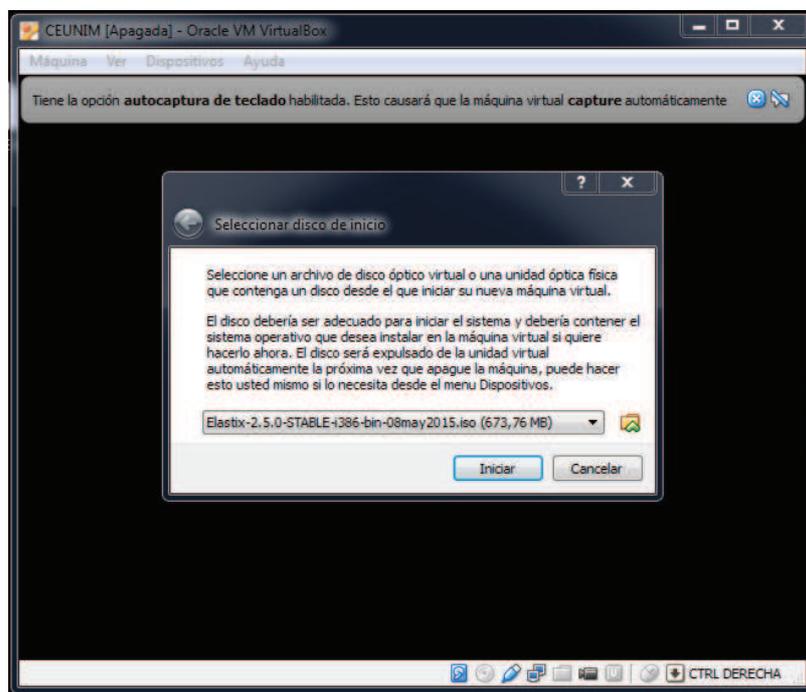


Figura 62: Instalación Elastix en máquina virtual utilizando VirtualBox

Una vez iniciado el sistema, se procede a la instalación de Elastix, siguiendo las opciones que aparecen en pantalla. Se debe seleccionar el idioma, la configuración del teclado, el disco duro donde se instalará el software y debe configurarse la interfaz de red. Esta última etapa, puede realizarse por DHCP o manualmente. Se opta por la opción manual, donde se debe ingresar una dirección IP válida dentro de la misma red LAN que se encuentre la PC física. Asignaremos la dirección 192.168.240.97 y máscara de red 255.255.255.0 a modo prueba, como se muestra en la **Figura 64**, considerando que estos datos deben ser provistos por el administrador de redes del edificio al momento de la implementación. También es necesario conocer las direcciones IP de la puerta de enlace, DNS primario y secundario para completar la configuración.

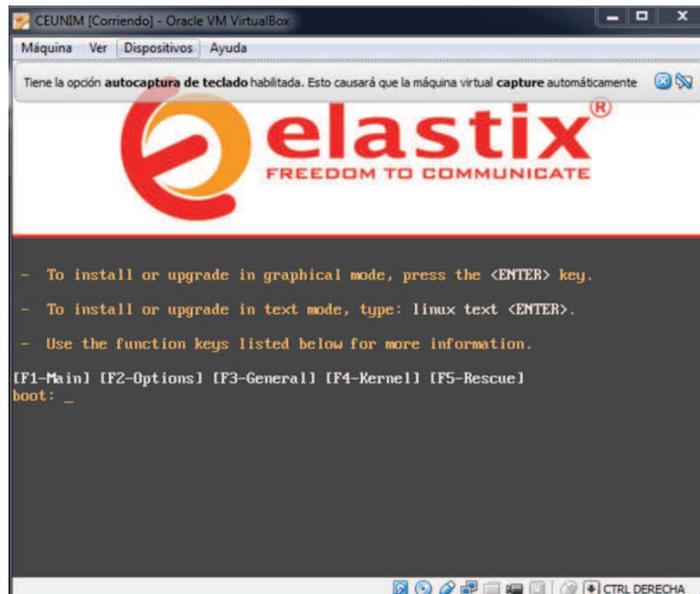


Figura 63: Instalación Elastix en máquina virtual utilizando VirtualBox

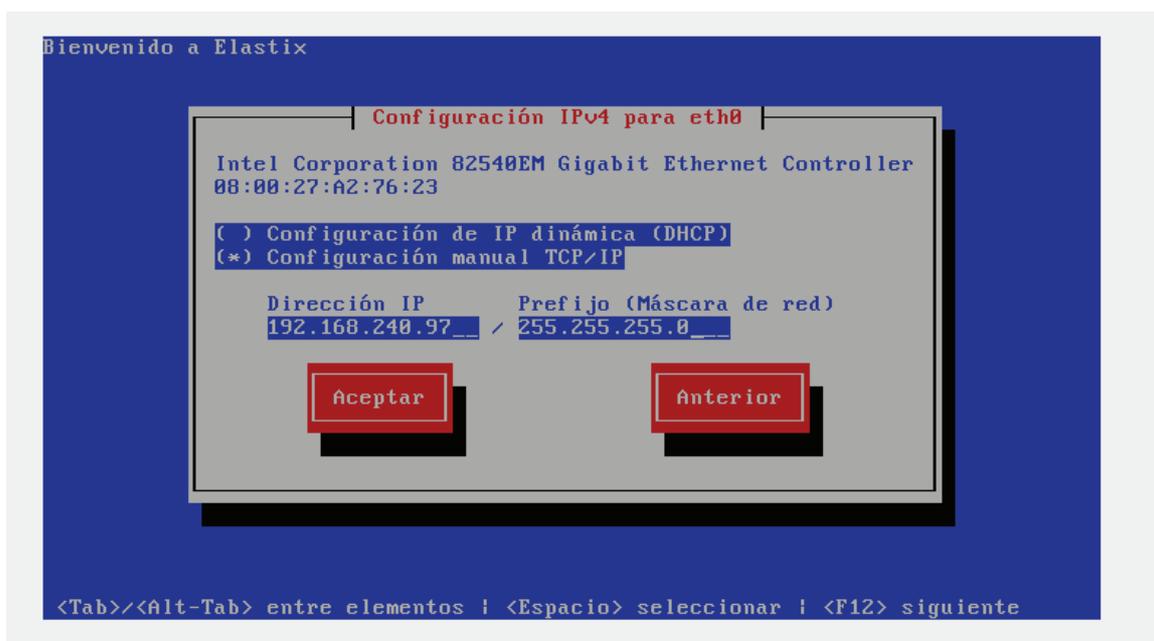


Figura 64: Configuración de parámetros de red en forma manual

A continuación se debe seleccionar el huso horario y nombre para el host, en este caso lo llamaremos *Cental Telefónica*. Se solicita ingresar una contraseña para poder acceder a la administración del sistema operativo, otra contraseña para el motor de base de datos MySQL y por ultimo una contraseña para poder acceder a la administración de Elastix desde la interfaz web. Una vez finalizada la instalación, iniciará el sistema y se mostrará la consola de administración del servidor, como se muestra en la **Figura 65**.

```
CentOS release 5.9 (Final)
Kernel 2.6.18-348.6.1.el5 on an i686

CENTRALTELEFONICA login: root
Password:

Welcome to Elastix
-----

Elastix is a product meant to be configured through a web browser.
Any changes made from within the command line may corrupt the system
configuration and produce unexpected behavior; in addition, changes
made to system files through here may be lost when doing an update.

To access your Elastix System, using a separate workstation (PC/MAC/Linux)
Open the Internet Browser using the following URL:
http://192.168.240.97

[root@CENTRALTELEFONICA ~]# _
```

Figura 65: Autenticación Elastix.

Luego, desde cualquier navegador web se ingresa la dirección IP asignada al servidor Elastix (192.168.240.97) y podremos ingresar a la plataforma de administración utilizando la contraseña generada en la instalación previa. En la **Figura 66** se muestra la pantalla principal.

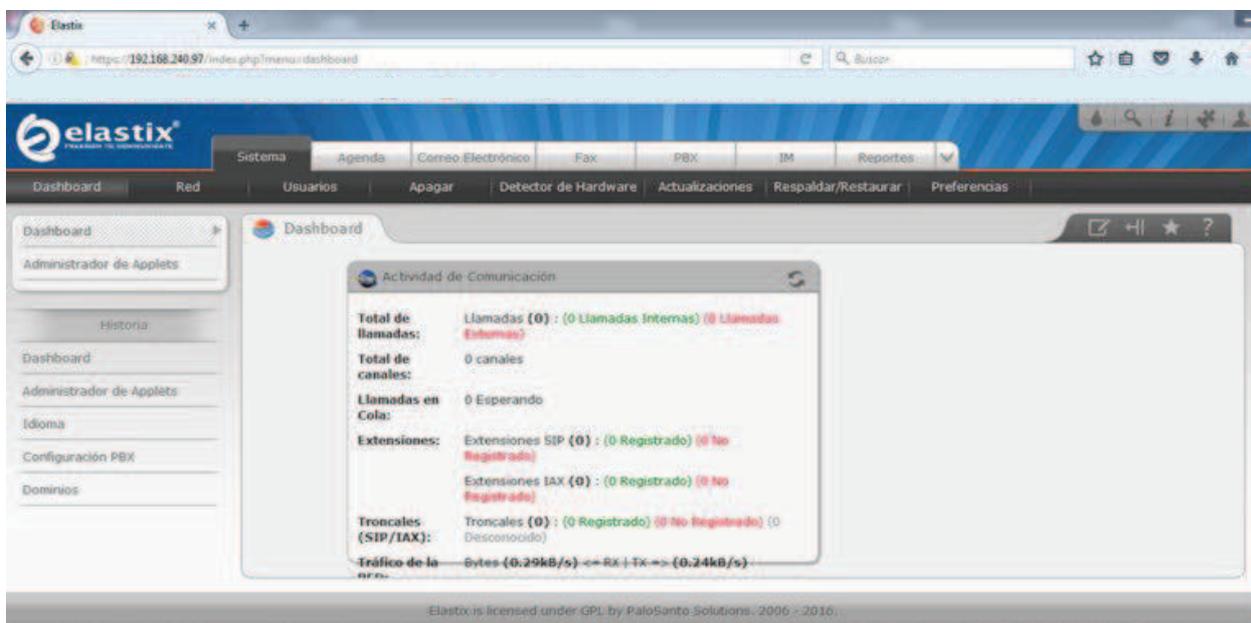


Figura 66: Plataforma web Elastix

En la barra superior se observan los diferentes módulos como Sistema, Agenda, Correo Electrónico, Fax, PBX y Reportes. PBX es una de las más importantes de Elastix y probablemente la más utilizada.

Crear y editar extensiones es probablemente la tarea más común realizada por un administrador. Elastix soporta cinco tipos de dispositivos al momento de definir una extensión: SIP, IAX2, DAHDI, Custom y Virtual. Para crear una extensión nueva se ingresa al Menú *PBX*, escogiendo la opción *Extensiones*. Se crearán dos extensiones SIP para realizar una llamada de prueba entre ellas, como se muestra en la **Figura 67**.

Personal Ciclotrón	Extensión 1028
Personal PET/CT	Extensión 1042

Entre todas las opciones de configuración, es indispensable definir un número de extensión único por usuario (puede ser de cualquier longitud), un nombre para mostrar para que las llamadas de este usuario puedan ser identificadas y una contraseña denominada secret que permitirá que el teléfono se autentique contra el servidor. Esta clave, será requerida para poner en funcionamiento una extensión tanto en un teléfono físico como en un softphone.

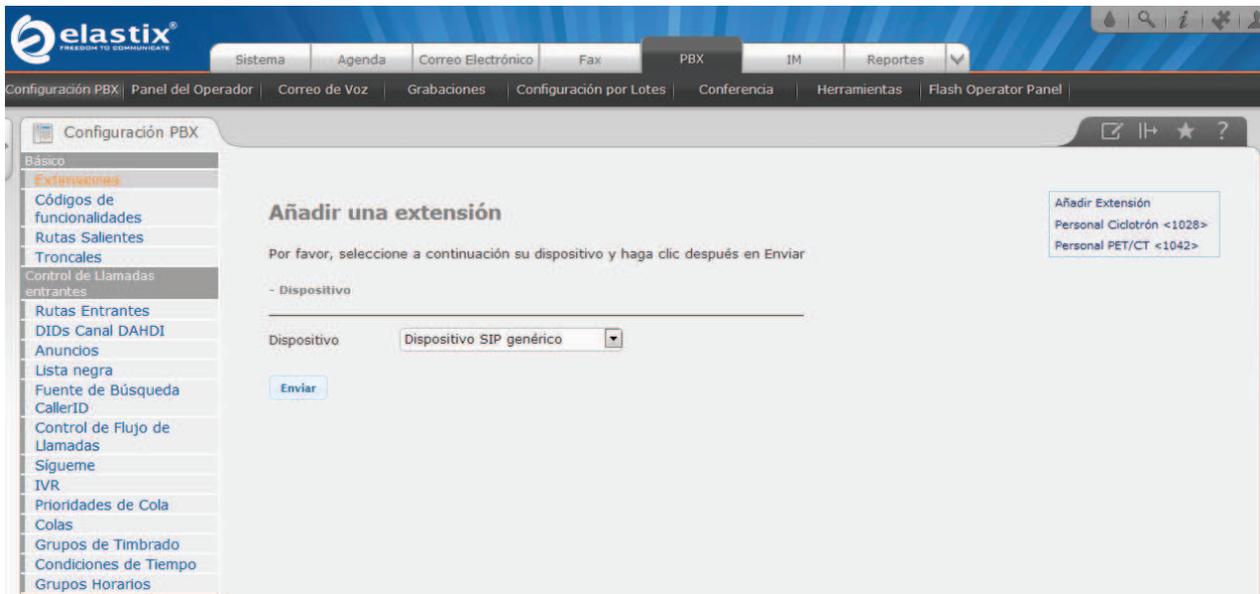


Figura 67: Creación de extensiones SIP

La configuración del teléfono IP o softphone suele ser bastante sencilla. Se requiere la dirección IP del servidor PBX Elastix, el nombre de usuario (comúnmente la extensión) y la contraseña de registro de dicho usuario. Al no contar con teléfonos físicos al momento de realizar la prueba, se configuraron las dos extensiones en softphones utilizando auriculares y un micrófono. Existen varias alternativas en softphones, entre ellos Zoiper (permite trabajar con extensiones de tipo SIP e IAX y es multiplataforma) y X-Lite (trabaja únicamente con extensiones SIP y es multiplataforma). Se utilizó el software Zoiper para la extensión 1028 y el X-Lite para la extensión 1042. Ambos cuentan con versiones gratuitas para descargar desde su página web. Es importante aclarar que la PC donde se instala el softphone debe pertenecer a la red donde se encuentra el servidor Elastix.

En la **Figura 68** se muestran los datos requeridos por ambos softphones para configurar las extensiones.

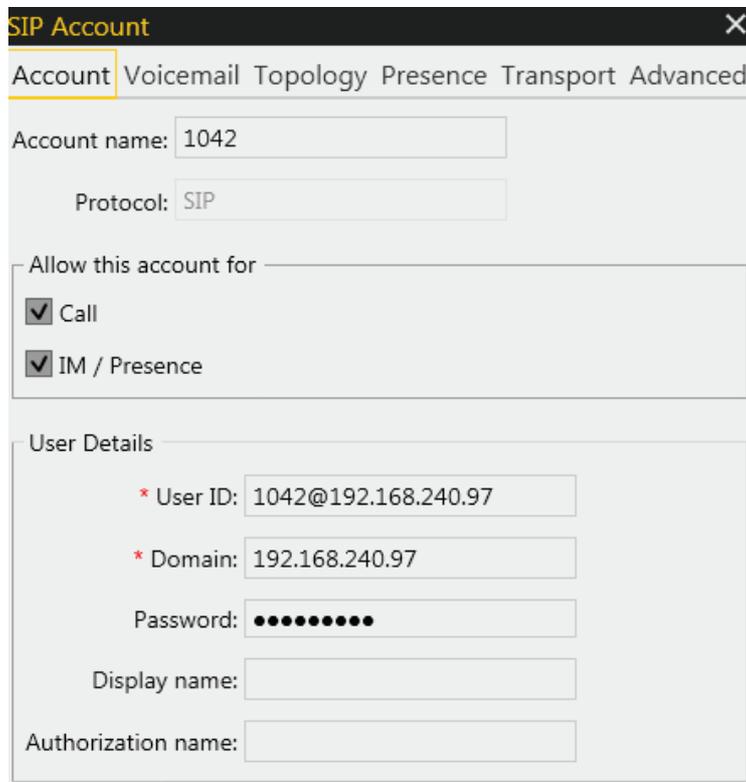
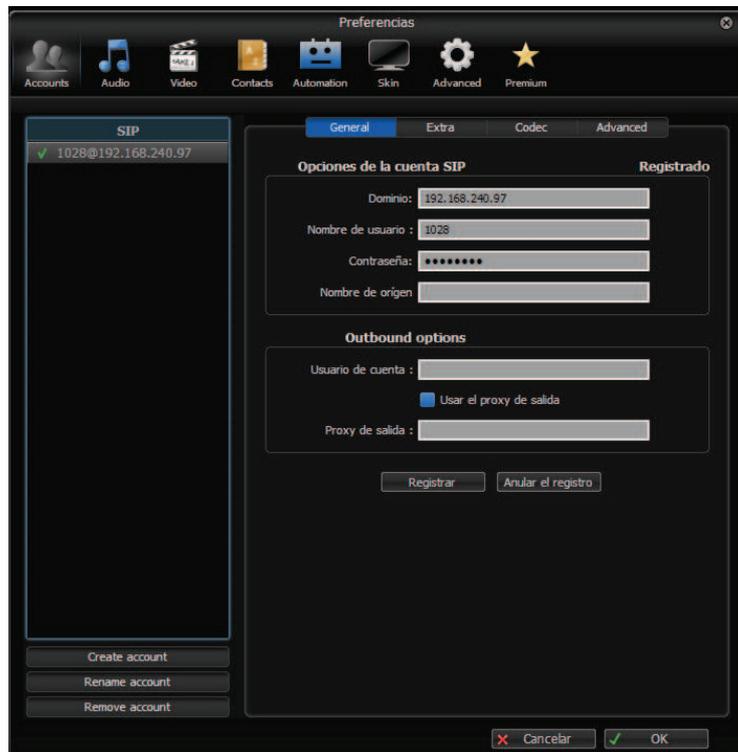


Figura 68: Configuración de extensiones en softphones Zoiper y X-Lite

Una vez creadas ambas extensiones y configuradas en cada softphone, es posible realizar una llamada de prueba, como muestra la **Figura 69 y 70**.

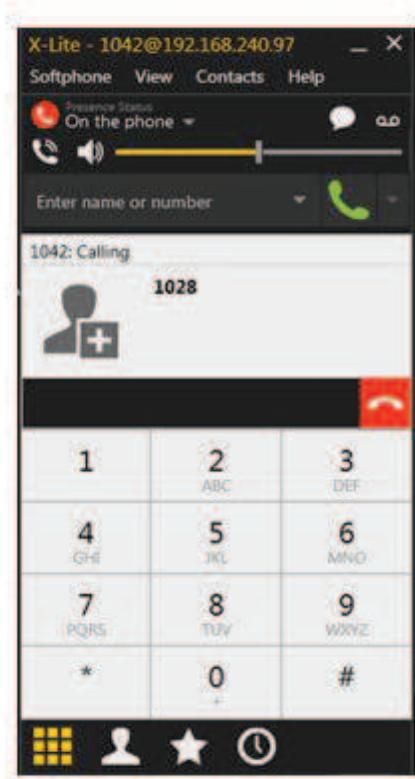


Figura 69: Extensión 1042 intentando comunicarse con extensión 1028.

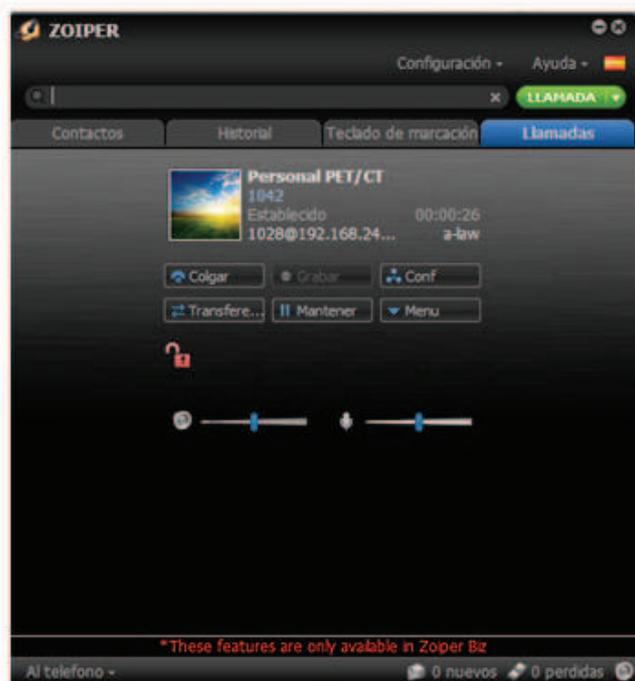
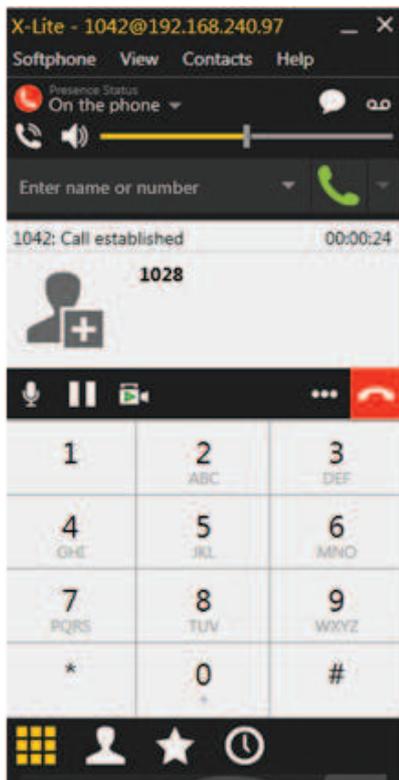


Figura 70: Extensión 1028 responde y queda establecida la llamada

3.5 ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

En la **Figura 71** se muestra un esquema de la solución a implementar.

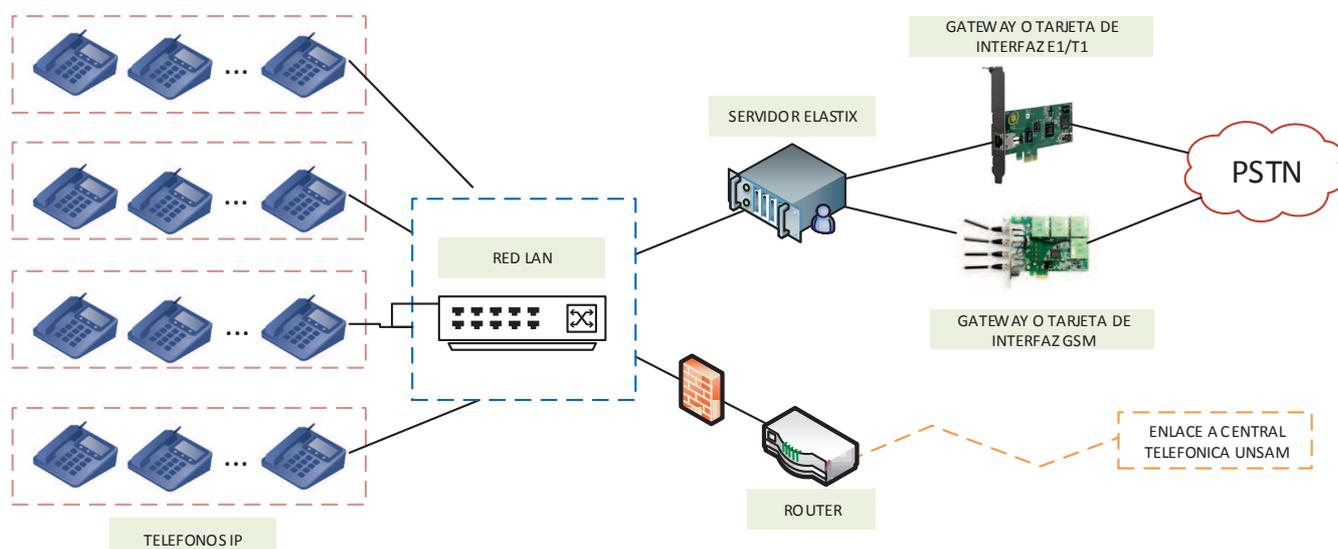


Figura 71: Esquema básico de la solución VoIP a implementar.

La salida principal a la red PSTN, como se explicó anteriormente, será mediante una tarjeta de interfaz E1 contratando un servicio de 15 canales digitalizados a 64 Kbps incluyendo 50 números DID. Las llamadas locales, nacionales e internacionales serán cursadas por este troncal. Hemos decidido adquirir una placa de interfaz GSM de cuatro puertos permitiendo que los usuarios puedan realizar llamadas a teléfonos celulares de las distintas redes GSM disponibles, estableciendo llamadas de celular a celular, que reducirá en gran medida los costos. También ofrece la posibilidad de enviar mensajes SMS a través de la red GSM, permitiendo que la central telefónica actúe como un Centro de SMS. Los mensajes SMS se pueden enviar para recordar los turnos a los pacientes brindando así una mayor flexibilidad. Además funcionará como un enlace de redundancia en caso de perderse la conectividad del enlace principal E1. Para dotar de alta disponibilidad a la solución, aconsejamos además contar con dos líneas analógicas de emergencia en el edificio ubicadas en sitios críticos como por ejemplo el ascensor y bunker del subsuelo. Esta alternativa será muy útil ante una caída de la red eléctrica y facilitará la comunicación a los usuarios allí presentes.

En este capítulo se presentó el caso de estudio, acompañado por los requerimientos del cliente necesarios para diseñar el proyecto haciendo uso de las tecnologías estudiadas en el Capítulo 2. Se realizó un análisis del tráfico externo e interno para dimensionar el servicio, seleccionando los protocolos y codecs más adecuados. Se presentaron las funcionalidades de la solución de software libre a emplear y los requerimientos de hardware necesarios en lo que refiere a servidores, gateways y placas de interfaz necesarias, incluyendo un plan de numeración y direccionamiento de llamadas a través de un árbol IVR. En el próximo capítulo se realizará una selección del equipamiento necesario para implementar la red analizando sus características y costos asociados.

4. EQUIPOS Y COSTOS

En el presente capítulo se realizará una selección del equipamiento necesario para implementar la solución en el Centro Universitario de Imágenes Médicas, analizando sus funcionalidades y prestaciones para brindar un servicio de alta disponibilidad a un costo óptimo. Luego de comparar las distintas alternativas utilizando tablas de promedios ponderados, presentaremos los costos asociados sin considerar cableado y equipamiento de networking dado que otro grupo de trabajo se ha dedicado a analizar y diseñar la red de datos del CEUNIM. Tampoco se tendrán en cuenta los costos de mano de obra, instalación y programación de la central telefónica. Como se mencionó en el Capítulo 3, el proveedor que prestará servicio de telefonía en el edificio aún no está definido, el mismo será adjudicado mediante una licitación pública donde las empresas de comunicaciones con presencia en la zona serán invitadas a participar, por este motivo omitiremos los costos asociados al acceso troncal digital E1, comúnmente expresados como un abono mensual. Los presupuestos y cotizaciones que presentaremos, pertenecen a empresas distribuidoras de equipamiento telefónico con sucursales en el país y pueden encontrarse al final del documento (**Anexo I: Cotizaciones**) junto con los datos de contacto de cada una.

4.1 SELECCIÓN DE SOFTWARE

En este apartado se presentarán las principales soluciones de software de comunicaciones unificadas, justificando la elección de Elastix. Para simplificar el desarrollo del proyecto, se han presentado sus funcionalidades en el Capítulo 3 – Proyecto. Todas las alternativas que se muestran en la **Figura 72** son gratuitas y open source. Se realizará una comparación, de las distribuciones teniendo en cuenta su compatibilidad con los distintos sistemas operativos, sus ventajas en cuanto a soporte y mejora de errores o fallos, y desventajas en lo que respecta a su facilidad de uso y funcionalidades. También se tendrán en cuenta los codecs y protocolos de señalización soportados por cada una. Por su gran popularidad, se analizarán las distribuciones Asterisk, TrixBox, Elastix y AsteriskNow puntuando cada uno de los ítems para finalmente realizar un promedio ponderado y seleccionar la mejor alternativa. Dicha comparación se muestra en la **Figura 73**.



Figura 72: Alternativas de software de comunicaciones unificadas.

	ASTERISK	TRIXBOX	ELASTIX	ASTERISK NOW
Sistema operativo	Compatible con Linux (Debian, Ubuntu, Mint, CentOS, RedHat, MacOS y Solaris)	Compatible con Linux (CentOS modificado)	Compatible con Linux (CentOS)	Compatible con Linux (CentOS)
10%	8	5	7	7
Compatibilidad y funciones	Amplia compatibilidad con placas de interfaz y gateways. Seguro, escalable y adaptable según requerimientos. Es la base de Trixbox, Elastix y FreePBX.	Utiliza PHP y MySQL haciendo más sencilla la configuración de Asterisk mediante una interfaz gráfica.	Interfaz gráfica amigable y fácil uso, es escalable, mensajería instantánea, fax y correo electrónico. Es la distribución más popular.	Interfaz de usuario muy ágil.
20%	6	7	10	7
Soporte	Soporte a nivel mundial en idioma inglés	Poco soporte en América Latina.	Soporte en América Latina	Soporte oficial de Digium. Sin presencia en América Latina
20%	9	4	8	6
Instalación y uso	Se requieren conocimientos de Linux dado que no cuenta con una interfaz gráfica, las configuraciones se hacen utilizando líneas de comandos.	Para mayor control hay que recurrir a la línea de comandos. No soporta todos los módulos. Componentes antiguos.	CentOS viene incluido en el mismo ejecutable, instala todos los componentes por defecto. Interfaz muy intuitiva.	Las funcionalidades adicionales extras deben ser instaladas manualmente y no ofrece soporte para tarjetas de otros fabricantes.
30%	4	5	10	7
Protocolos de señalización	SIP, H.323, IAX, IAX2, Jingle, MGCP, SCCP, entre otros.	IAX, IAX2, H.323, SIP, MGCP, SCCP.	SIP, IAX, H323, MGCP, SCCP, entre otros.	SIP, IAX, H323, MGCP, SCCP, entre otros.
10%	8	8	8	8
Códecs	G.711 (Ley A y Ley μ), G.719, G.722.1, G.722, G.722.1, G.723.1, G.726, G.729A, GSM, iLBC.	G.711 (Ley A y Ley μ), G.722, G.723, G.726, G.729, GSM, iLBC.	G.711 (Ley A y Ley μ), G.722, G.723.1, G.726, G.729, GSM, iLBC.	G.711 (Ley A y Ley μ), G.722, G.723.1, G.726, G.729, GSM, iLBC, Speex.
10%	9	8	8	8
PROMEDIO	68%	61%	90%	71%

Figura 73: Tabla comparativa de software de comunicaciones unificadas.

Todas las distribuciones utilizan el software Asterisk como base para montar el resto de la experiencia para el usuario. Hemos decidido utilizar Elastix dado que cumple ampliamente con los requerimientos del cliente, obteniendo una compatibilidad del 90% según los parámetros comparados en la tabla de la **Figura 73**. Es fácilmente administrable y configurable gracias a su entorno gráfico, es escalable y cuenta con mecanismos de seguridad al transmitir la voz. Al descargar el archivo en formato ISO de la página web de Elastix, se incluye el sistema operativo CentOS facilitando la instalación, implementación y configuración del sistema. No existe costo asociado al uso de la solución de comunicaciones unificadas Elastix, aunque opcionalmente puede contratarse un soporte bajo demanda, diseñado para resolver problemas que se presenten. Incluye cambios en la configuración, investigación y diagnóstico de casos, asistencia en configuración de call center y solución de problemas mediante acceso remoto. En la **Figura 74** se muestran las distintas alternativas y sus costos expresados en dólares estadounidenses.

FORMATOS DE SOPORTE BAJO DEMANDA	PAQUETE		
	1 HORA	5 HORAS	10 HORAS
8/5 atención regular en días y horarios laborables	\$ 99.00 1 Hour of Support Time Chat Based 8x5	\$ 499.00 Bundle of 5 Hours of Support Time Chat Based 8x5	\$ 999.00 Bundle of 10 Hours of Support Time Chat Based 8x5
24/7 atención extendida todos los días del año	\$ 149.00 1 Hour of Support Time Chat Based 24x7	\$ 699.00 Bundle of 5 Hours of Support Time Chat Based 24x7	\$ 1299.00 Bundle of 10 Hours of Support Time Chat Based 24x7

Figura 74: Alternativas de soporte bajo demanda Elastix.

4.2 SELECCIÓN DE HARDWARE

4.2.1 Servidor

Las distribuciones basadas en Asterisk presentadas incorporan diversas funcionalidades sin limitaciones en cuanto a cantidad de usuarios. Recordando que el software debe ser montado en un servidor de gama media y debe adquirirse un gateway o placa de interfaz para interconectarse con la red PSTN, los precios se incrementan y es necesario considerar otras opciones. Si se cuenta con una empresa pequeña (no mayor a 25 usuarios) probablemente no sea la alternativa más económica ya que no se aprovecharán todas sus funcionalidades. En la mayoría de los casos, las empresas pequeñas no cuentan con un administrador de sistemas o telefonía, para estos casos existen pequeños servidores de centrales telefónicas que cubren las funcionalidades

básicas a un costo accesible y administración sencilla. Las centrales telefónicas para pequeñas empresas, comúnmente soportan como máximo 100 extensiones y 30 llamadas concurrentes. Son compatibles con la mayoría de las soluciones de software presentadas anteriormente y según las necesidades de la empresa, se deben adquirir distintos módulos para interconexión con la red PSTN. A modo informativo, en la **Figura 75** se presentan los costos asociados a una solución llave en mano desarrollada por la empresa Yeastar (Modelo S100), incluyendo una placa de interfaz E1 y 4 interfaces GSM destinadas a llamadas a celulares y enlace de redundancia ante fallas del principal.



Cantidad	Descripción	Precio	IVA	Precio Total
1	YEASTAR S100	\$ 16.271	10.5 %	\$ 16.271
1	PLACA INTERFAZ E1	\$ 16.185	10.5 %	\$ 16.185
4	PLACA INTERFAZ GSM	\$ 3.887	10.5 %	\$15.548
TOTAL SIN IVA (Cotizado por Empresa Cignal – Noviembre de 2016)				\$ 48.004

Figura 75: Central telefónica Yeastar S100.

En nuestro caso, contaremos con aproximadamente 38 usuarios y según requerimiento del cliente, la central telefónica debe ser implementada en un servidor dedicado. En este caso, la interconexión con la red PSTN podrá realizarse mediante placas de interfaz o gateways, como veremos más adelante.

Al trabajar con un alto tráfico de llamadas, se prefiere utilizar un servidor dimensionado para dicho tráfico y contar con redundancia a nivel hardware para evitar posibles fallas y caídas del servicio. Es necesario realizar copias de seguridad periódicas y contar con redundancia a nivel disco duro haciendo que trabajen en conjunto y en caso de que uno de ellos falle, los datos sean accesibles sin interrupciones del servicio. También se recomienda contar con doble fuente de alimentación para evitar fallas causadas por desperfectos eléctricos y duplicar las tarjetas de red para garantizar la comunicación. Existe una técnica denominada *bonding* donde las tarjetas de red se comportan como

si fueran un único dispositivo, sumando sus capacidades y teniendo redundancia en el caso que alguna falle.

A medida que crece la red y la infraestructura de servidores, probablemente algunos están dedicados a ejecutar una única aplicación, desaprovechando su capacidad de procesamiento. Es posible recuperar esta capacidad creando máquinas virtuales en un único servidor utilizando un sistema de software especializado. De este modo, se aprovecha la inversión sin tener que agregar más infraestructura. Una alternativa posible sería emular un servidor autónomo donde se podrá instalar la solución de comunicaciones unificadas. En el Capítulo 3 - Proyecto, se realizó una prueba de funcionamiento utilizando el software de virtualización VirtualBox. Adicionalmente, será necesario adquirir gateways externos para interconexión con la red PSTN teniendo en cuenta que estos dispositivos son más costosos que las placas de interfaz.

En ambos casos, se necesita suministro eléctrico constante y deben evitarse las subidas o bajadas bruscas de tensión para evitar daños en los componentes del servidor. Recomendamos hacer uso de equipos UPS (Uninterruptible Power Supply), que se componen de baterías conectadas entre el servidor y la red eléctrica garantizando la energía por un tiempo determinado, que puede ser empleado para apagar correctamente el equipo.

Si se requiere contar con suministro eléctrico por períodos más largos, es necesario contar con un generador conectado entre la UPS y la red eléctrica. Estos equipos funcionan con combustible diésel. Contar con equipamiento de estas características permitirá brindar un servicio de calidad al usuario final y cumplir con los requerimientos especificados por el cliente.

En lo que respecta a servidores físicos, existen dos tipos en el mercado. Los servidores en torre y los rackeables. Los tower o en torre son básicos y ocupan el mismo espacio que una PC, son ideales para pequeñas empresas que tienen un espacio limitado y generalmente no cuentan con datacenter. Los servidores rackeables permiten ahorrar espacio y son adecuados para las empresas que cuentan con más de un servidor. Son compactos y existen de distintas medidas ya sean 1U, 2U, 4U y 8U (unidades de rack) dependiendo de las necesidades del cliente.

En nuestro caso, optamos por servidores rackeables dado que el CEUNIM contará con un datacenter donde convergerán todos los servicios de comunicaciones y se destinará un armario al servicio de telefonía.

Según lo estudiado en el Capítulo 3 – Proyecto, se necesita como mínimo un servidor con procesador Dual Core 2GHz y 4GB de memoria RAM. Teniendo en cuenta que existe una probabilidad de crecimiento a nivel usuarios, es conveniente equipar el servidor con un procesador Intel Xeon de 6 núcleos, 8 GB de memoria RAM, doble disco duro de 1TB y fuente de alimentación redundante.

Luego de comparar los modelos de servidores desarrollados por las empresas IBM, DELL y Hewlett Packard, se decide utilizar un servidor HP ProLiant DL120 Gen9 ya que ofrece una buena combinación de rendimiento, redundancia y

capacidad de ampliación en comparación con los servidores de la competencia, convirtiéndolo en el más indicado para implementaciones de mediana escala. A continuación presentaremos sus especificaciones técnicas:

- Admite procesador Intel Xeon (6 núcleos)
- HPE DDR4 Smart Memory evita la pérdida de datos y el tiempo de inactividad con un manejo de errores mejorado. Cuenta con 8 ranuras DIMM y admite una capacidad máxima de 256 GB con velocidades de hasta 2400 MHz.
- Admite opciones de hasta 4 unidades LFF y 8 unidades SFF de disco duro/estado sólido de 12 Gb/s con capacidad máxima de hasta 40 TB.
- Hasta 3 ranuras PCI express 3.0 para admitir una GPU (Unidad de procesamiento gráfico) y tarjetas de red.
- Admite fuentes de alimentación redundantes básicas HPE 80 de 550 W
- Diseño de eficiencia energética

Es importante destacar que el equipo cuenta con tres años de garantía en piezas, un año de mano de obra y un año de cobertura de soporte a domicilio. En la **Figura 76** se presentan los costos asociados al servidor donde se montará la solución de comunicaciones unificadas Elastix.



Cantidad	Descripción	Precio sin impuestos	IVA	Precio Total
1	HP ProLiant DL120 Gen9 - 8G (2 x HDD 1TB, Dual Power, HP Carepack 3 años)	\$ 46.413	10.5 %	\$ 51.286

Figura 76: Servidor HP ProLiant DL120 Gen9.
 (Cotizado por Empresa Telintec – Noviembre de 2016)

En la **Figura 77** se presenta una tabla comparativa entre los modelos de servidores desarrollados por las empresas IBM, DELL y Hewlett Packard. Se enumeran sus características principales en lo que respecta a procesador, memoria RAM, puertos PCI express destinados a placas de interfaz, alimentación eléctrica, garantía del fabricante y precio de mercado. Utilizaremos una tabla de promedios ponderados para seleccionar la mejor alternativa.

Los precios presentados en dicha tabla incluyen doble disco duro de 1TB, todos los modelos permiten aumentar la capacidad de almacenamiento y cuentan con la tecnología RAID, que permite formar un sistema de almacenamiento de datos en tiempo real utilizando múltiples unidades de almacenamiento de datos entre las que se distribuyen o replican los datos. Dependiendo de su configuración se logra mayor integridad, tolerancia a fallos, rendimiento y capacidad. Los modelos de los tres principales desarrolladores de servidores cuentan con un diseño de clase empresarial y están dimensionados para ocupar una unidad de rack.

			
Modelo	ProLiant DL120 Gen9	PowerEdge R430	System x3250 M4
Procesador	Intel Xeon E5 (Seis núcleos)	Intel Xeon E5 (Seis núcleos)	Intel Xeon E3 (Cuatro núcleos)
20%	9	9	7
Memoria RAM	8 GB / 256 GB (máximo)	12 ranuras DIMM (máximo 384 GB)	4GB / 32 GB (máximo)
20%	9	8	6
Comunicación	2 puertos Gigabit Ethernet	4 puertos Gigabit Ethernet	2 puertos Gigabit Ethernet
15%	8	9	8
Puertos PCI express	1 puerto x16 / 2 puertos x8	2 puertos x16	1 puerto x4 / 1 puerto x8
20%	9	8	7
Alimentación	Admite fuente redundante	Admite fuente redundante	Admite fuente redundante
10%	10	10	10
Garantía	3 años	3 años	3 años
5%	10	10	10
Precio	\$51.286	62.320	\$ 46.590
10 %	8	6	9
PROMEDIO	89%	85%	80%

Figura 77: Tabla comparativa de servidores de las principales empresas fabricantes.

En base a los parámetros comparados, concluimos que la alternativa de la firma Hewlett Packard es la más conveniente por su relación precio calidad, obteniendo una compatibilidad del 89%.

4.2.2 Teléfonos IP

La compra de los teléfonos IP probablemente sea uno de los gastos que más impacto tendrán en el presupuesto final. Para seleccionar los equipos a utilizar en el CEUNIM, como primera medida debe tenerse en cuenta que tendrán que soportar el códec G.711 que se ha elegido y el protocolo de señalización SIP. Los costos varían según sus funcionalidades, diseño y construcción. Se han consultado a varios proveedores en Argentina y se concluye que por cuestiones de importación no se cuenta con gran variedad de modelos de teléfonos. Planteado el caso a distintos distribuidores, se observa que la mayoría ofrece equipos de las firmas Grandstream y Yealink. Cabe destacar que es importante seleccionar un teléfono que tenga un distribuidor autorizado en el país por cuestiones de garantía y principalmente porque la operación será realizada mediante una licitación pública. A continuación se presentan los requerimientos mínimos planteados por el cliente:

- Al menos dos cuentas SIP.
- Al menos 2 teclas programables.
- Pantalla LCD.
- Opción de llamada en espera y conferencia.
- PoE (Power Over Ethernet).
- Altavoz.
- Manos libres.
- Puertos Ethernet dobles de 10/100/1000 Mbps.

Para seleccionar el equipo indicado, es importante evaluar aspectos referentes a la calidad de construcción, calidad de audio, diseño y funcionalidades. Luego de realizar la comparación entre dos modelos de las firmas mencionadas (Grandstream GXP-1628 y Yealink T-42G) se concluye que el equipo desarrollado por la firma Grandstream tiene un precio muy competitivo, cumple con las funcionalidades requeridas por el cliente y mantiene un estándar con la Universidad Nacional de San Martín, quien utiliza esta marca de teléfonos IP en su red. El equipo Yealink cuenta con una calidad de construcción similar y cumple ampliamente con las funcionalidades requeridas por el cliente, incrementando su precio por incluir prestaciones que el cliente no necesita. El modelo GXP-1628 es ergonómico, resistente a caídas o golpes y además de ser económico, cuenta con un diseño robusto y duradero. Para conocer las alternativas existentes en el mercado hemos asistido a Elastix World, un evento de tecnología ícono en Latinoamérica dirigido a la voz sobre IP, telefonía, comunicaciones unificadas y código abierto llevado a cabo el 19 y 20 de octubre de 2016 en Buenos Aires. Aquí tuvimos la posibilidad de dialogar con distribuidores, integradores, fabricantes y desarrolladores, planteando dudas referentes al equipamiento a emplear.

En la **Figura 78**, se comparan ambos modelos y sus prestaciones en lo que respecta a codecs, protocolos, conectividad y funcionalidades requeridas por el cliente, entre otros parámetros. En base a la tabla presentada, hemos decidido optar por el equipo de la firma Grandstream por alcanzar una compatibilidad del 92 % frente al equipo de la competencia.

	GRANDSTREAM GXP-1628	YEALINK T-42G
Cuentas SIP	2 cuentas SIP	12 cuentas SIP
5%	7	9
Teclas programables	3 teclas programables en display y 8 teclas de extensión con BLF	6 teclas programables en display
5%	9	7
Códec G.711	Cumple	Cumple
5%	10	10
Señalización SIP	Cumple	Cumple
5%	10	10
Pantalla LCD	Pantalla gráfica LCD con luz de fondo de 132 x 48 pixeles	Pantalla gráfica LCD con luz de fondo 192 x 64 pixeles
5%	8	9
PoE	Integrado	Integrado
10%	10	10
Altavoz y manos libres	Cumple	Cumple
5%	10	10
Funcionalidades destacadas	Llamada en espera	Llamada en espera
	Conferencia 3 de vías	Conferencia 3 de vías
	Transferencia	Transferencia
	Directorio telefónico (Hasta 500 contactos)	Directorio telefónico (Hasta 1000 contactos)
	Tonos personalizados	Tonos personalizados
	Idioma español	Idioma español
	Incluye cable de red y fuente de alimentación	No incluye cable de red y fuente de alimentación
	Incluye auriculares	No incluye auriculares
20%	9	8
Puertos Gigabit	2 puertos auto sensitivos	2 puertos auto sensitivos
10%	10	10
Precio	\$ 1700 + IVA 10,5 %	\$ 3053 + IVA 10,5 %
30%	9	7
PROMEDIO	92%	84%

Figura 78: Tabla de selección teléfonos IP

4.2.3 Teléfonos IP para conferencias

Además de los teléfonos IP destinados a los usuarios del CEUNIM, se recomienda contar con dos equipos de conferencias a instalar en las salas de reuniones. Estos equipos ofrecen una excelente calidad de audio a todos los participantes y son muy utilizados en las empresas. Comúnmente se ubican en el centro de la mesa y permiten establecer conversaciones con múltiples participantes. A diferencia de un teléfono IP convencional, cuentan con varios micrófonos para poder capturar el audio y altavoces de gran potencia que permiten escuchar claramente al orador. Los equipos de conferencias deberán cumplir con ciertos requisitos para sean compatibles con nuestra solución. Como punto de partida, deben soportar el códec G.711 que se ha elegido y el protocolo de señalización SIP. Existen distintas empresas fabricantes de equipos y los costos varían según funcionalidades, prestaciones y diseño. Luego de consultar a varios proveedores en Argentina, la mayoría ofrece equipos de la firma Grandstream y Yealink. Al igual que los teléfonos IP, es importante que exista un distribuidor autorizado en el país por cuestiones de garantía y principalmente porque la operación será realizada mediante una licitación pública.

En principio, los requerimientos mínimos planteados por el cliente son:

- Pantalla LCD.
- Una cuenta SIP.
- PoE (Power Over Ethernet).
- Altavoz y audio HD.
- 3 micrófonos.
- Puertos Ethernet dobles de 10/100/1000 Mbps.

Para realizar la selección de equipos, se comparará el modelo CP-860 desarrollado por la firma Yealink con el modelo GAC-2500 desarrollado por Grandstream. Los dos teléfonos para conferencias se muestran en la **Figura 79** y se realizará una comparación de características en la **Figura 80**



Figura 79: Teléfonos para conferencias.
A la derecha el modelo Grandstream GAC-2500 y a la izquierda e Yealink CP-860

	GRANDSTREAM GAC-2500	YEALINK CP-860
Cuentas SIP	6 cuentas SIP	1 cuentas SIP
5%	9	4
Wi-Fi y Bluetooth	Soportado	No
5%	10	0
Códec G.711	Cumple	Cumple
5%	10	10
Señalización SIP	Cumple	Cumple
5%	10	10
Pantalla LCD	Pantalla LCD Resolución 800 x 480	Pantalla LCD 192 x 64 pixeles y 24 teclas
5%	10	10
PoE	Integrado	No
10%	10	0
Micrófonos	3 micrófonos	3 micrófonos
5%	9	9
Funcionalidades destacadas	Llamada en espera	Llamada en espera
	Conferencia 7 vías	Conferencia 5 vías
	Transferencia	Transferencia
	Directorio telefónico (Hasta 2000 contactos)	Directorio telefónico (Hasta 1000 contactos)
	Tonos personalizados	Tonos personalizados
	Idioma español	Idioma español
	Incluye cable de red y fuente de alimentación	No incluye cable de red y fuente de alimentación
	Conexión en cascada	No admite conexión en cascada
	Sistema operativo Android 4.4	No cuenta con S.O. Android 4.4
20%	9	6
Puertos Gigabit	1 puerto 10/100/1000	No (1 puerto 10/100)
10%	9	4
Precio	\$ 9.765 + IVA 10,5 %	\$ 10.462 + IVA 10,5 %
30%	9	6
PROMEDIO	93%	55%

Figura 80: Tabla de selección teléfonos de conferencias.

Luego de realizar la comparación entre los modelos de las firmas mencionadas (Grandstream GAC2500 y Yealink CP860) utilizando una tabla de promedios ponderados, concluimos que el equipo desarrollado por la firma Grandstream tiene un precio muy competitivo, cumple ampliamente con las funcionalidades requeridas por el cliente y a diferencia del equipo Yealink, cuenta con mayor cantidad de cuentas SIP, pantalla táctil capacitiva de gran tamaño, sistema operativo Android, puerto Gigabit Ethernet, Bluetooth para conectar auriculares o teléfonos celulares y conexión Wi-Fi. Al contar con sistema operativo Android, dentro de las aplicaciones de Google Play el sistema puede descargar y ejecutar Skype, Google Hangouts y cualquier otro softphone utilizando los micrófonos y los altavoces que incluye el GAC2500. Además es posible conectar otro dispositivo en cascada, muy útil si se cuenta con varias salas y gente distribuida en ambas, utilizando los micrófonos y altavoces de los teléfonos para la misma conferencia. Se recuerda además que los equipos de la firma Grandstream se utilizan en la Universidad de San Martín y han tenido un buen. Por estos motivos, su precio conveniente y contar con una compatibilidad del 93 % recomendamos adquirir dos unidades GAC-2500 a ser instalados en las salas de conferencias del CEUNIM.

4.2.4 Placas de Interfaz y Gateways

Como se analizó en el Capítulo 3 – Proyecto, será necesario interconectar la central telefónica con la red PSTN. Para ello, se puede optar por la utilización de placas de interfaz o gateways externos. Desde el punto de vista operativo, ambos ofrecen los mismos resultados y su utilización depende del escenario en cuestión. Según requerimiento del cliente, el servicio de telefonía del CEUNIM debe contar con alta disponibilidad y para ello, será necesario contar con hardware robusto.

Una de las opciones más habituales es instalar placas de interfaz PCI express en el servidor dedicado. Esta alternativa es muy utilizada cuando se trabaja con líneas telefónicas analógicas o enlaces digitales y es importante que el servidor elegido cuente con una cantidad aceptable de puertos PCI express. Las tarjetas se conectan directamente al motherboard del equipo, mientras que los gateways son dispositivos externos equipados con puertos Ethernet que se conectan a la red de datos y se comunican con la central telefónica mediante el protocolo SIP. Como ventaja, las tarjetas no ocupan espacio adicional, dado que se montan en el servidor de comunicaciones, y no requieren tomas de alimentación eléctrica adicionales. No son aconsejables para instalaciones sobre una máquina virtual o equipos de bajo presupuesto. Los gateways, en cambio permiten mayor flexibilidad si se opta por virtualización y en caso de existir un fallo, se reemplazan sin necesidad de apagar el servidor de telefonía.

En cualquiera de los casos, se requiere una tarjeta o gateway con interfaces E1/T1 para la interconexión con la red PSTN. Si se decidiera equipar la solución con líneas analógicas tradicionales se necesitará una tarjeta o gateway con puertos FXO. En el mercado existe una amplia gama de equipamiento y gran variedad de modelos que también admiten conexiones híbridas. Si se opta por el uso de placas de interfaz, se aconseja además instalar un módulo cancelador de eco, que comúnmente se encuentran integrados y permiten reducir este fenómeno.

A la hora de realizar la selección, se deben tener en cuenta distintos factores como protocolos, flexibilidad, complejidad, potencia y precio. Según el modelo elegido se podrán configurar más o menos parámetros en cuanto a codecs y protocolos de señalización. En nuestro caso se requiere un equipo sencillo con una interfaz E1/T1, compatible con el protocolo de señalización SIP y el códec G.711.

Planteado el caso a distintos distribuidores en Argentina, se ofrecen equipos de la firma Sangoma, Dinstar y ATCom, como se muestra en la **Figura 81** y **82**.



Figura 81: Gateway Sangoma Vega 100G y Dinstar MTG200.

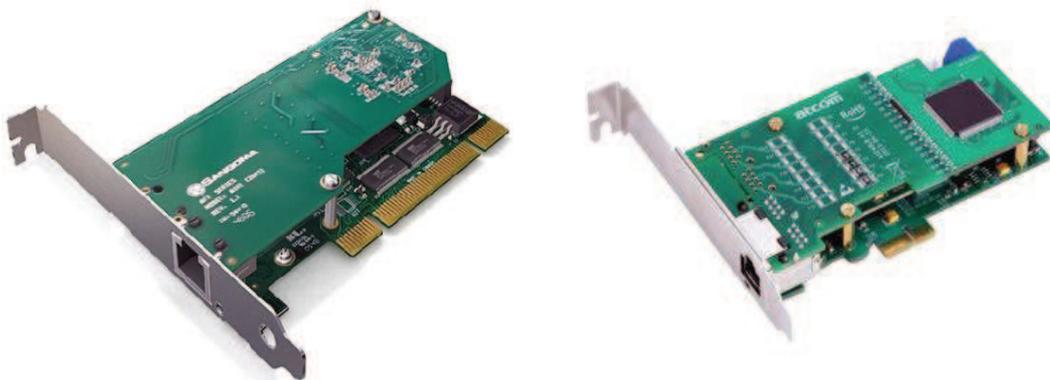


Figura 82: Placa de interfaz Sangoma A101 y ATCom ACE1-DL

A continuación se realizará una comparación de las soluciones basadas en gateways y placas de interfaz en lo que respecta a prestaciones, conectividad, codecs soportados, protocolos de señalización y precio de mercado. Para realizar la selección, se analizarán dichos parámetros utilizando una tabla de promedios ponderados, como se muestra en **Figura 83** y **84**.

GATEWAYS EXTERNOS		
Modelo	Dinstar MTG200 1 ISDN PRI/E1/T1/J1- SIP	Sangoma Vega 100G 1 ISDN PRI/E1/T1/J1 - SIP
Interfaces	2 puertos RJ-45 10/100 Base-TX, puerto console	2 puertos RJ-45 10/100/1000 Base-TX, puerto console.
20%	7	9
Códecs	G.711(a-law/ μ -law), G.729, G.723, iLBC.	G.711 (a-law/ μ -law), G.729A, G.723, G.726
15%	9	10
Señalización	Q.921, Q.931, Q.SIG, R2 MFC	QSIG, CAS y R2 MFC
15%	10	10
Cancelador de eco	Incluido junto con buffer jitter y supresión de silencios	Incluido junto con buffer jitter, supresión de silencios y estadísticas QoS
20%	9	10
Precio	\$ 17.903 + IVA 10,5 %	\$35.133 + IVA 10,5 %
30%	8	6
PROMEDIO	84%	86%

Figura 83: Tabla comparativa gateways.

PLACAS DE INTERFAZ		
Modelo	Sangoma A101D – SIP	ATCom AXE1DL - SIP
Interfaces	Un puerto T1/E1/J1 Interfaz PCI express	Un puerto T1/E1/J1 Interfaz PCI express
20%	10	10
Códecs	G.711(a-law/ μ -law), G.729, G.723, iLBC.	G.711(a-law/ μ -law), G.729, G.723, iLBC.
15%	10	10
Señalización	CAS, R2 MFC, PRI, SS7	CAS, PRI, CCS
15%	10	6
Cancelador de eco	Incluye placa auxiliar cancelación de eco por hardware DSP	No incluye placa auxiliar cancelación de eco por hardware DSP
20%	10	0
Precio	\$ 18.700 + IVA 10,5 %	\$7285 + IVA 10,5 %
30%	8	9
PROMEDIO	94%	71%

Figura 84: Tabla comparativa placas de interfaz.

Si bien todos los modelos cumplen con los requerimientos del cliente, en lo que respecta a placas de interfaz, el modelo de la firma ATCom no cuenta con módulo cancelador de eco y la empresa fabricante no es reconocida en el mercado, por lo tanto se prefiere contar con equipamiento robusto y el respaldo de una empresa líder como Sangoma. Aunque su precio sea más elevado, se recomienda equipar la solución con una placa de interfaz fiable, dado que la mayoría de las llamadas serán cursadas sobre esta por tratarse del enlace principal. La alternativa seleccionada ofrece una compatibilidad del 94% según los parámetros comparados y concluimos que no se justifica realizar una inversión de casi el doble para adquirir un gateway externo, dado que en principio no se trabajará con virtualización de servidores. Las placas de interfaz ofrecen los mismos resultados y su probabilidad de falla es muy baja. Por estos motivos, decidimos adquirir una placa de interfaz Sangoma A101D con un módulo adicional cancelador de eco en base a los resultados obtenidos en la **Figura 83 y 84**.

Como enlace de redundancia y pensando en que quizás resulte útil contratar una flota de teléfonos celulares para otorgar movilidad al personal, decidimos utilizar líneas GSM. En este caso, también existe la posibilidad de utilizar placas de interfaz o gateways. Ambos permiten alcanzar un ahorro al usuario en llamadas desde líneas fijas a redes celulares y en caso de contratar una flota de teléfonos existen planes para realizar llamadas gratuitas entre sus miembros. Además, permiten enviar y recibir mensajes de texto (SMS), un punto muy importante a tener en cuenta dado que le otorgaría un valor agregado a la solución. Por ejemplo, se podría comunicar a los pacientes la fecha de turnos médicos o información general.

En nuestro caso, decidimos optar por gateways dado que el servidor de comunicaciones unificadas estará ubicado en un rack del datacenter y al utilizar tarjetas PCI express las señales podrían ser recibidas con baja potencia al contar con pequeñas antenas integradas. Todos los distribuidores consultados, coinciden en que se consigue un mejor rendimiento utilizando gateways externos frente a tarjetas. Los gateways se conectan vía Ethernet a cualquier switch con acceso a la red de telefonía y utilizan el protocolo SIP para comunicarse con la central telefónica. Existen equipos con 4, 8 y 16 SIM cards. Al tratarse de un enlace de respaldo, se utilizará un equipo capaz de soportar 4 SIM cards, apto para operar en el rango 850/1900 MHz con antena externa SMA. A la hora de realizar la selección, se deben tener en cuenta distintos factores incluyendo los codecs soportados, protocolos, funcionalidades y costos asociados. Planteado el caso a distintos resellers en Argentina, se ofrecen equipos de la firma Dinstar, 2N y Yeastar, como se muestra en la tabla comparativa de la **Figura 85**.

Se observa que la alternativa de la firma 2N admite el uso de PoE (Power Over Ethernet), incrementando en gran medida su precio de mercado. Las tres alternativas se encuentran certificadas por Elastix, siendo totalmente compatibles con la distribución. Se propone utilizar el Gateway desarrollado por la firma Dinstar por cumplir con los requerimientos propuestos ofreciendo un 87% de compatibilidad frente a los equipos de la competencia.

La alternativa de la firma Yeastar admite el protocolo IAX2 y otras funcionalidades adicionales que no resultan útiles para nuestro escenario superando por más del doble el precio de la alternativa seleccionada.

GATEWAYS GSM			
Modelo	Dinstar DWG2000E	2N VoiceBlue Next	Yeastar Neogate TG400
Codecs	G.711(a-law/ μ law), G.723.1, G.729A/B	G.711(a-law/ μ law), G.723.1, G.729A/B	G.711 (a-law/ μ law), G.722, G.726, G.729A, GSM, ADPCM, Speex
15%	9	9	10
Protocolos	SIP	SIP	SIP, IAX2
15%	8	8	9
Interfaces	2 LAN Ethernet 10/100 BASE-T- 4 slots GSM/CDMA, 1 puerto console.	1 LAN Ethernet 10/100 BASE-T- 4 slots GSM/CDMA/UMTS	1 LAN Ethernet 10/100 BASE-T- 4 slots GSM/CDMA/UMTS
15%	9	8	8
Antena	Antena externa con spitter integrado, conector SMA	Antena externa con spitter integrado, conector SMA	Antena externa con spitter integrado, conector SMA
5%	10	10	10
Funcionalidades	850/900/1800/1900MHz (GSM), 800MHz (CDMA), envío y recepción de SMS, SMSC y USSD, buffer jitter adaptativo supresión de silencios, VAD, control de ganancia.	850/900/1800/1900 MHz (GSM), 800/850/900/2100 MHz (UMTS). Admite PoE, Envío y Recepción de SMS, Centro SMS desde plataforma web.	850/900/1800/1900M Hz (GSM), 800MHz (CDMA), 850/1900MHz, 850/2100MHz y 900/2100MHz (UMTS), Envío y Recepción de SMS, Centro SMS, USSD.
20%	8	9	7
Precio	\$ 8415 + IVA 10,5 %	\$ 25.833 + IVA 10,5 %	\$ 17.500 + IVA 10,5 %
30%	9	7	8
PROMEDIO	87%	81%	83%

Figura 85: Tabla comparativa de gateways GSM.

Habiendo analizado las distintas alternativas en lo que respecta a equipamiento, se presentarán los costos obtenidos en base a cotizaciones elaboradas por las empresas consultadas.

4.3 COSTOS DE LA SOLUCIÓN

En la **Figura 86** se presentan los costos asociados al equipamiento recomendado para la implementación de la solución de telefonía IP en el CEUNIM. Todos los elementos de la tabla pueden ser contrastados con las cotizaciones de las empresas consultadas en **Anexo I: Cotizaciones**, donde también podrán encontrarse los datos de contacto. Los valores están expresados en pesos argentinos y corresponden al mes de Noviembre de 2016.

Cantidad	Descripción	IVA	Proveedor	Precio
1	Servidor HP Proliant DL120 Gen9 - 8G RAM, 2x HDD 1TB, Dual Power, HP Carepack 3 años.	10.5 %	Telintec	\$ 51.286
1	Placa de Interfaz E1 con módulo cancelador de eco Sangoma A101D	10.5 %	Provetel	\$ 18.700
1	Gateway GSM apto para 4 SIM Card Dinstar DWG2000E	10.5 %	Provetel	\$ 8.415
38	Teléfono IP Grandstream GXP-1628	21 %	ATN	\$ 64.600
1	Software de comunicaciones unificadas Elastix 2.5.0	-	Elastix	\$ 0
2	Teléfono para conferencias Grandstream GAC-2500	10.5 %	Handcell	\$ 19.530
TOTAL SIN IVA				\$ 162.531

Figura 86: Costos asociados al equipamiento.

En la **Figura 87**, se presenta un esquema completo de la solución a implementar incluyendo el equipamiento propuesto y su interconexión.

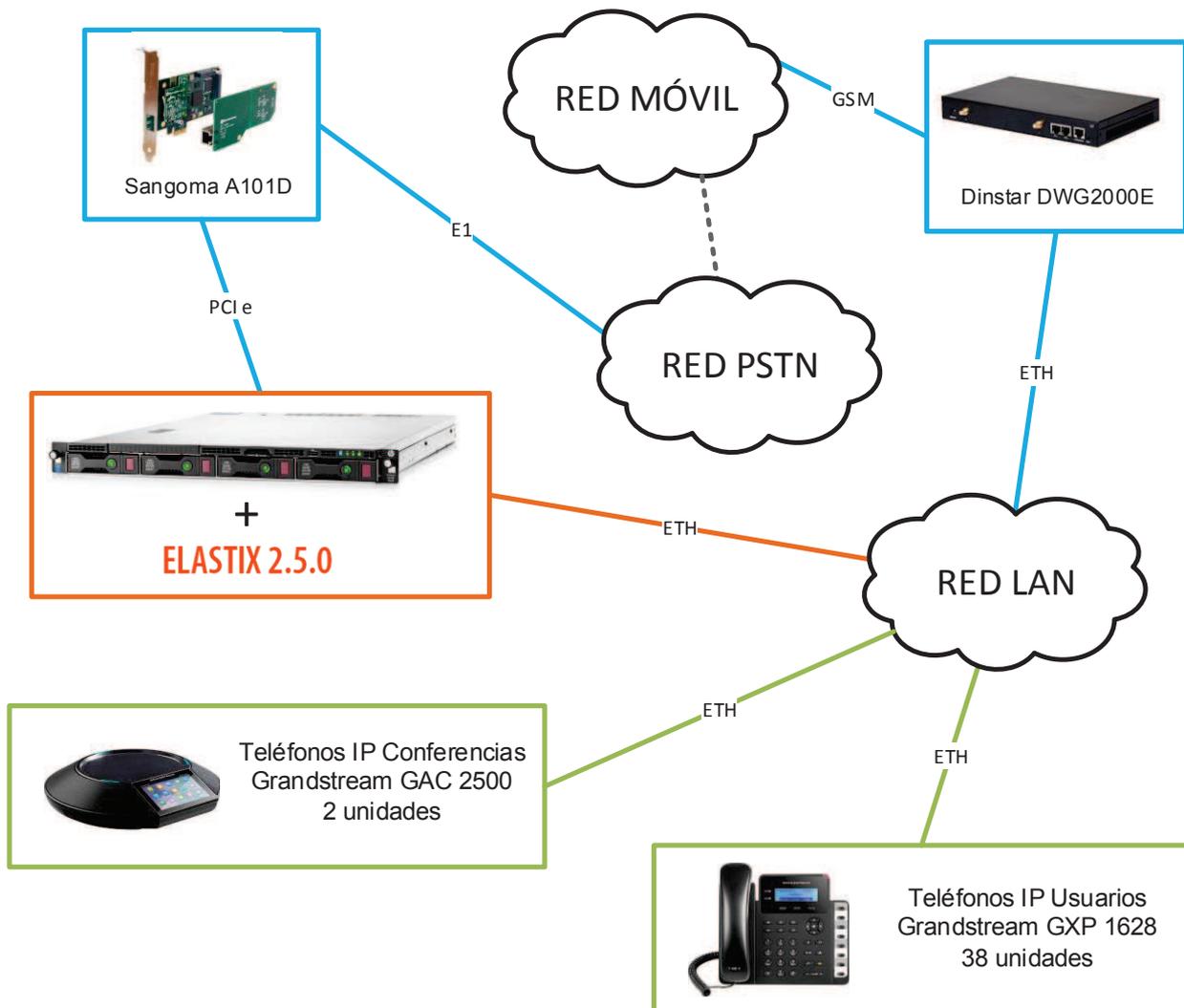


Figura 87: Esquema de la solución a implementar

En este capítulo se realizó una selección del equipamiento necesario para implementar la red VoIP en el Centro Universitario de Imágenes Médicas analizando sus características funcionales y prestaciones para brindar un servicio de alta disponibilidad a un costo óptimo. Luego de comparar las distintas alternativas utilizando tablas comparativas con promedios ponderados, se presentaron los costos asociados. Los presupuestos y cotizaciones utilizados, pertenecen a empresas distribuidoras de equipamiento telefónico con sucursales en Argentina y pueden encontrarse al final del documento (**Anexo I: Cotizaciones**) junto con los datos de contacto de cada una. En el próximo capítulo se presentarán las conclusiones finales del proyecto, justificando las decisiones tomadas a lo largo del mismo, analizando su viabilidad e incluyendo algunas recomendaciones a tener en cuenta al momento de implementar la solución.

5. CONCLUSIONES FINALES

Este trabajo tuvo como objetivo principal el estudio y diseño de una solución de telefonía IP a implementar en el Centro Universitario de Imágenes Médicas. Como primer paso, fue necesario conocer los requerimientos y necesidades del cliente. Para ello, se llevaron a cabo distintas reuniones técnicas donde se estableció que la edificación iba a contar con un total de 29 usuarios, cifra que a futuro podría incrementarse a unos 40, consecuentemente la solución debía ser escalable y apta para soportar dicho incremento. El cliente estaba interesado en poder establecer comunicaciones internas y externas, entre empleados del Centro Médico y pacientes respectivamente. Entendiendo que el edificio está construyéndose en el predio de la Universidad Nacional de San Martín se propuso adicionalmente vincular ambas centrales telefónicas mediante un enlace de comunicaciones, permitiendo establecer llamadas sin cargo entre los sitios, sin perder independencia respecto al funcionamiento y prestaciones. El servicio a ofrecer debía ser de calidad y contar con una disponibilidad alta, dado que la principal salida a la red de telefonía pública estará dedicada a recibir llamadas de potenciales pacientes en relación a consultas, solicitudes de turnos o informes sobre los estudios médicos que allí se realizarán. Entre otros requerimientos, el interesado expresó un importante interés en contar con funcionalidades adicionales como captura y colas de llamadas, buzón de voz, música en espera, conferencias entre varias extensiones y un pre atendedor de llamadas que cuente con un mensaje de bienvenida y despliegue un menú de opciones para encaminar las llamadas dentro del CEUNIM. La solución a implementar debía ser fácilmente administrable y contar con una interfaz gráfica amigable minimizando el mantenimiento y administración de la misma. En base a estos requerimientos, se realizó el dimensionamiento de la solución teniendo en cuenta el tráfico de llamadas internas y externas, se seleccionó el software y equipamiento necesario y se estableció un plan de numeración y direccionamiento concordante con el rango numérico brindado por la empresa prestadora del servicio telefónico.

Como primer paso, se realizó un estudio de las tecnologías existentes partiendo de los fundamentos básicos de telefonía. Se presentaron las redes orientadas a conmutación de circuitos, donde se vio que se establece un circuito dedicado entre los puntos antes que los usuarios se comuniquen y no puede ser utilizado por otros usuarios hasta finalizar la conexión, como es el caso de la red de telefonía pública conmutada o PSTN. Se realizó un análisis de su arquitectura, crecimiento a lo largo de los años a causa del incremento de usuarios y evolución hacia otras tecnologías, dando lugar a las redes de conmutación de paquetes, como las redes IP. Se observó que permiten transmitir en simultáneo diferentes flujos de información por un mismo medio optimizando recursos. El tráfico de cada flujo de información se divide en paquetes que se envían intercaladamente y los mismos se agrupan nuevamente en destino para obtener el mensaje original. Observamos que a diferencia de las redes orientadas a circuitos, el ancho de banda es variable ya que depende del tráfico de la red en un momento dado. Cada paquete de un mismo flujo de información no necesariamente sigue la misma ruta en la red por lo tanto, los paquetes que originalmente fueron generados en secuencia

pueden llegar desordenados a destino. Estos factores son muy importantes cuando se trabaja con señales de tiempo real, ya que afectan a la calidad de la llamada.

Al trabajar con señales de voz, se estudió el proceso necesario para poder transmitir dichas señales sobre una red de paquetes, que consiste en realizar un muestreo de la señal, seguido de una cuantificación y por último una codificación, donde los valores tensión se representan numéricamente por medio de códigos. Se presentaron las características de IP, protocolo de capa de red no orientado a la conexión, que provee el direccionamiento lógico para establecer una ruta entre dos o varios terminales pertenecientes a distintas redes haciendo uso de distintos protocolos de ruteo. Se estudiaron los principales protocolos de transporte como TCP (Transport Control Protocol) y UDP (User Datagram Protocol), concluyendo que el primero prioriza la confiabilidad sobre la velocidad y eficiencia. Si luego de enviar un paquete, no se recibe una confirmación de recepción después de un cierto periodo de tiempo, dicho paquete es retransmitido. Las retransmisiones afectan al usuario de VoIP, provocando retrasos que se traducen en altos niveles de jitter. Por este motivo, concluimos que las señales de tiempo real no requieren un protocolo de transporte confiable, se prefiere descartar paquetes y utilizar UDP, donde los paquetes son enviados sin advertencias, preparaciones o negociaciones y no se garantiza su recepción. Los paquetes perdidos no se retransmiten, siendo más conveniente garantizar el flujo de información que la recepción de todos los paquetes. Más adelante, se estudiaron los protocolos de capa de aplicación diseñados exclusivamente para transmitir señales sensibles a retardos en una red de paquetes. Hablamos del protocolo RTP (Real Time Protocol), que permite marcar los paquetes teniendo en cuenta que pueden llegar desordenados o perderse y proporciona un mecanismo que permite ordenarlos en receptor y conocer cuáles y cuántos se han perdido. Consecuentemente, permite detectar variaciones de retardo, determinando el tiempo entre paquetes para tomar las medidas adecuadas. También estudiamos el protocolo RTCP (Real Time Control Protocol), que se encarga de controlar y monitorear el flujo de datos RTP mediante la transmisión periódica de paquetes de control obteniendo estadísticas sobre jitter, retardo y pérdida de paquetes.

Posteriormente, se estudiaron los protocolos de señalización más utilizados en VoIP, enumerando sus principales características y teniendo en cuenta su importancia a la hora de establecer, administrar y finalizar una comunicación. Se analizaron los mensajes intercambiados durante todas las fases de una llamada utilizando el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) y H.323. Luego de realizar una comparación, decidimos utilizar el protocolo SIP, creado por el grupo IETF (Internet Engineering Task Force), debido a su gran extensión y compatibilidad con equipamiento del mercado. El protocolo H.323 fue pionero en transmisión de multimedia, haciendo hincapié en la calidad de servicio pero al contar con una complejidad mayor, perdió popularidad frente a SIP que ofrece simplicidad, seguridad, flexibilidad, escalabilidad y un excelente manejo de ancho de banda. Se estudió el uso del protocolo IAX (Inter Asterisk Exchange Protocol) como alternativa, pero fue descartada dado que algunos equipos del mercado no lo soportan. Por estos motivos, su bajo costo de

implementación, disponibilidad en la mayoría de los dispositivos y facilidad de interacción con otros protocolos IP se optó por SIP como protocolo de señalización a emplear en el Centro Universitario de Imágenes Médicas.

Analizamos que el protocolo IP fue desarrollado para proporcionar un servicio best effort, es decir que realiza su mejor esfuerzo para entregar paquetes y no puede garantizar que los datos lleguen a su destino, ni ofrecer calidad de servicio al usuario. Se vio que el tráfico de voz es muy sensible al retardo, variación del retardo y la pérdida de paquetes ocasionando palabras, sonidos que faltan, eco, o pausas excesivamente largas en las comunicaciones. Se presentaron los métodos para reducir estos fenómenos a modo informativo y aquellos valores recomendables para garantizar calidad de servicio. Por otro lado, calculamos el ancho de banda requerido para transportar paquetes VoIP sobre la red de datos del CEUNIM, considerando un tráfico interno de 15 llamadas simultáneas. Vimos que el ancho de banda requerido por llamada se relaciona directamente con el códec a utilizar y su capacidad de compresión, por este motivo se estudiaron los codecs más utilizados para luego realizar una comparación y optar por el más adecuado. Analizando las alternativas existentes, se observó que G.729 se destaca por su gran compresión (8 Kbps) aunque requiere un importante consumo de CPU. Como desventaja, se encuentra bajo licencia y se debe pagar por el uso de cada canal. Dado que uno de los requerimientos del cliente fue minimizar los costos, su implementación fue descartada. Optamos entonces por el códec G.711, que ofrece una excelente calidad de voz y no cuenta con compresión de audio a diferencia de G.729 y demás codecs estudiados. Aprovechando que el CEUNIM está en construcción y la red de datos será dimensionada para altos niveles de tráfico, concluimos que este códec será perfectamente soportado y garantizará la calidad de voz requerida con un MOS de 4,2. En base a esto, se realizaron los cálculos correspondientes y concluimos que será necesario reservar un ancho de banda mínimo de 1,3 Mbps, dedicado al servicio de telefonía. Para vincular la central telefónica con la Universidad de San Martín y establecer llamadas sin cargo entre los sitios se propuso contratar un enlace de comunicaciones de 2 Mbps de ancho de banda.

Para conocer la cantidad de líneas externas requeridas, estimamos el tráfico ofrecido y se definió una probabilidad de bloqueo. Para ello se utilizó el modelo de Erlang, ampliamente utilizado en el diseño de redes de telefonía. Se asumió un tráfico promedio por usuario de 0,2 E y una probabilidad de bloqueo del 1%, definida como la probabilidad de que al querer realizar una llamada todas las líneas se encuentren ocupadas. Utilizando estos datos, se planteó el modelo de tráfico para calcular la cantidad de circuitos telefónicos requeridos para abastecer a los 29 usuarios en hora pico. Considerando un margen para crecimiento futuro, la solución se dimensionó para un tráfico ofrecido de 8 E, es decir 40 usuarios ofreciendo un tráfico de 0,2 E. Utilizando las tablas del modelo de tráfico Erlang B, se concluyó que será necesario contar con 15 líneas telefónicas para satisfacer el tráfico en la hora de mayor ocupación. Atento a que las empresas prestadoras de servicio de telefonía comercializan accesos troncales digitales tipo E1 de 2 Mbps (30 canales telefónicos digitalizados a 64 Kbps y 2 canales de señalización) brindando un rango de 100 números a distribuir entre los usuarios, se decidió que en este caso se

requerirá contratar un servicio digital de 15 canales o media trama E1 con 50 números DID, aunque en función de las necesidades futuras, será posible cambiar la configuración del servicio, agregando facilidades y ampliando el número de canales, dado que se trata de un servicio externo a contratar y tendrá un abono mensual asociado al mismo.

Concluimos que la telefonía IP puede ser considerada un servicio más dentro de una red LAN y cuenta con varias ventajas, entre ellas permite que los usuarios se comuniquen sin limitaciones y los puntos de falla se reducen al administrar una única red. Estudiamos que es posible ofrecer calidad de servicio similar a la que brinda la red tradicional asignando prioridades a los paquetes. Además, VoIP ofrece servicios de valor agregado como correo de voz, mensajería instantánea, fax, música en espera y videoconferencias, entre otras. Facilita la movilidad de los usuarios, dado que pueden disponer de su interno en cualquier parte del mundo si se cuenta con una conexión a internet.

Se estudiaron distintas alternativas a la hora de implementar el servicio, analizando las soluciones open source y las propietarias, presentando las ventajas y desventajas de cada una. Se observó que al trabajar con software propietario las posibilidades de utilizarlo, modificarlo o redistribuirlo son limitadas. La compañía fabricante posee los derechos de autor sobre el software negando los derechos de usar el programa con cualquier otro propósito, por ejemplo adaptarlo a las propias necesidades, y su principal desventaja es que propone el pago licencias por uso y actualizaciones de software. No es posible distribuir copias, mejorar el programa y hacer públicas las mejoras. Tiempo antes de la expansión masiva de Internet, las telecomunicaciones eran controladas por unas pocas empresas que creaban las tecnologías y otras que utilizaban los productos y servicios. Según requerimiento del cliente, se buscó optimizar los recursos y reducir costos, por ello se volvió atractivo seleccionar una alternativa de software libre. Se presentaron las características de Asterisk, un software de licencia libre que actúa bajo Linux y fue desarrollado para cumplir funciones de central telefónica. Vimos que en los últimos años, muchas empresas a nivel mundial han decidido migrar hacia esta plataforma dado que cumple con las mismas características que las centrales telefónicas desarrolladas por las grandes empresas de telefonía sin pagar cargos adicionales por licencias de uso. Estas soluciones incluyen características que anteriormente solo estaban disponibles en los costosos sistemas propietarios. Utilizando la base de este desarrollo, se crearon distintas distribuciones que ofrecen un entorno gráfico intuitivo diseñado para que cualquier usuario con conocimientos básicos pueda administrar la central telefónica, ya que Asterisk requiere habilidades de programación avanzadas.

Luego de realizar una comparación entre las distribuciones más populares, Asterisk, TrixBox, Elastix y AsteriskNow, se analizó su compatibilidad con los distintos sistemas operativos, sus ventajas en cuanto a soporte, mejora de errores o fallas, desventajas en lo que respecta a su facilidad de uso y funcionalidades, y se concluyó que Elastix cumplía ampliamente con los requerimientos del cliente, obteniendo una compatibilidad del 90% frente a las otras distribuciones. Al realizar una prueba de funcionamiento, se observó que

es fácilmente administrable y configurable gracias a su entorno gráfico, es escalable, compatible con la mayoría de las empresas desarrolladoras de hardware de interconexión con la red PSTN y cuenta con mecanismos de seguridad para transmitir voz. No existe costo asociado al uso de la solución de comunicaciones unificadas y se vio que opcionalmente puede contratarse un soporte bajo demanda en América Latina, diseñado para resolver problemas que se presenten, incluyendo cambios en la configuración, investigación y diagnóstico de casos, asistencia en configuración de call center y solución de problemas mediante acceso remoto.

La selección del software Elastix nos permitió contar con las funcionalidades de una central telefónica a costo cero. Se realizó un análisis comparativo en lo que respecta a servidores utilizados para montar dicho software. Se observó que existe la posibilidad de utilizar una computadora hogareña aunque esta alternativa fue descartada dado que es probable que se presenten problemas y fallas en sus componentes, tales como disco duro, coolers y fuentes de alimentación a causa del uso prolongado. Entre otras opciones, se presentó la opción de virtualizar la central telefónica y utilización de un servidor único para varios servicios, pero de esta forma no se tendría un equipo dedicado y la solución no cumpliría con los requerimientos del cliente. En consecuencia, decidimos utilizar un servidor corporativo rackeable teniendo en cuenta que el CEUNIM contará con un datacenter donde convergerán todos los servicios de comunicaciones y se destinará un armario al servicio de telefonía. Frente a esta elección, se contará con redundancia a nivel hardware para evitar posibles fallas y caídas del servicio. Bajo esta óptica se compararon los modelos de servidores desarrollados por las empresas líderes del mercado, enumerando sus características principales en lo que respecta a procesador, memoria RAM, puertos PCI express destinados a placas de interfaz, alimentación eléctrica, garantía del fabricante y precio de mercado, donde finalmente se optó por la alternativa desarrollada por Hewlett Packard por cumplir ampliamente con los requerimientos del cliente, ofrecer una combinación de rendimiento, redundancia y capacidad de ampliación en comparación con los servidores de la competencia, convirtiéndolo en el más indicado para implementaciones de mediana escala por su relación precio calidad. Por último, se recomendó la utilización de equipos UPS (Uninterruptible Power Supply) que se componen de baterías conectadas entre el servidor y la red eléctrica garantizando la energía por un tiempo determinado, pudiendo ser empleado para apagar correctamente el equipo y evitar daños en el mismo.

Estudiamos que para garantizar la calidad de las llamadas, es necesario separar el tráfico de voz en un dominio de broadcast independiente del tráfico de datos mediante la implementación de VLANs y se recomienda utilizar las capacidades de QoS de la infraestructura de red, priorizando el tráfico de la VLAN de voz sobre cualquier otro tráfico para minimizar los efectos del retardo, jitter y pérdida de paquetes. En lo posible utilizar switches que soporten PoE (Power over Ethernet), permitiendo que cualquier dispositivo que disponga de conexión a la red cuente con la alimentación necesaria para su funcionamiento a través de un único cable. Es importante tener en cuenta las medidas de seguridad eléctrica para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y

utilizar políticas de seguridad para reducir la probabilidad de convertirse en un blanco de ataques informáticos.

Como siguiente paso, realizamos una investigación de mercado, en lo que respecta a teléfonos. Se han consultado a varios proveedores en Argentina y vimos que por cuestiones de importación no se cuenta con gran variedad de modelos. Se planteó el caso a distintos distribuidores y la mayoría ofrecieron equipos de la firma Grandstream y Yealink. Cabe destacar que fue necesario seleccionar un teléfono IP que tenga un distribuidor autorizado en el país por cuestiones de garantía y principalmente porque la operación será realizada mediante una licitación pública. Se realizó una tabla comparativa, teniendo en cuenta sus prestaciones, funcionalidades y costos utilizando promedios ponderados. Notamos que el equipo desarrollado por la firma Grandstream tenía un precio muy competitivo, cumplía con las funcionalidades requeridas por el cliente y mantenía un estándar con la Universidad Nacional de San Martín, quien utiliza esta marca de teléfonos IP en su red. El equipo Yealink contaba con calidad similar de construcción y cumplía ampliamente con las funcionalidades requeridas por el cliente, incrementando su precio por prestaciones que el cliente no necesitaba. Por estos motivos, se optó por el modelo Grandstream GXP-1628 dado que es ergonómico, resistente a caídas o golpes y además de ser económico, cuenta con un diseño robusto y duradero. Adicionalmente, se propuso adquirir dos equipos de conferencias a instalarse en las salas del CEUNIM. Se observó que estos equipos ofrecen una excelente calidad de audio a todos los participantes y son muy utilizados en salas de reuniones de empresas, comúnmente se ubican en el centro de la mesa y permiten establecer conversaciones con múltiples participantes. A diferencia de un teléfono IP convencional cuentan con varios micrófonos para poder capturar el audio y altavoces de gran potencia que permiten escuchar claramente al orador. Para realizar la selección de equipos, se comparó el modelo CP-860 desarrollado por la firma Yealink con el modelo GAC-2500 desarrollado por Grandstream. Luego de realizar la comparación entre los modelos de las firmas mencionadas a partir de una tabla con promedios ponderados se concluyó que el equipo desarrollado por la firma Grandstream contaba con un precio muy competitivo, cumplía ampliamente con las funcionalidades requeridas por el cliente y a diferencia del equipo Yealink, contaba con mayor cantidad de cuentas SIP, pantalla táctil capacitiva de gran tamaño, sistema operativo Android, puerto Gigabit Ethernet, Bluetooth para conectar auriculares o teléfonos celulares, conexión Wi-Fi y mantenía un estándar con la Universidad de San Martín al igual que los teléfonos de escritorio.

Para interconectar la central telefónica con la red PSTN mediante un acceso digital E1, se observó que puede optarse por la utilización de placas de interfaz o gateways externos. Estudiamos que desde el punto de vista operativo, ambos ofrecían los mismos resultados y su utilización dependía del escenario en cuestión. Vimos que las tarjetas se conectan directamente a la placa madre del servidor, mientras que los gateways son dispositivos externos equipados con puertos Ethernet que se conectan a la red de datos y se comunican con la central telefónica mediante el protocolo SIP. Observamos que las tarjetas no ocupan espacio adicional, dado que se montan en el servidor de comunicaciones, y no requieren tomas de alimentación eléctrica adicionales.

Se compararon las distintas alternativas utilizando una tabla de promedios ponderados y aunque todos los modelos cumplían con los requerimientos, se optó por una placa de interfaz con el respaldo de una empresa líder como Sangoma ya que brindaba un 94% de compatibilidad según los parámetros comparados. Se prefirió equipar la solución con equipamiento fiable teniendo en cuenta que la mayoría de las llamadas serán cursadas sobre dicha placa, por tratarse del enlace principal. Se descartó la utilización de gateways externos, ya que requería una inversión de casi el doble y en principio no se trabajaría con virtualización de servidores. Se concluye que las placas de interfaz ofrecen los mismos resultados y su probabilidad de falla es muy baja. Como enlace de redundancia y pensando en que quizás resulte útil contratar una flota de teléfonos celulares para otorgar movilidad al personal, se propuso utilizar líneas GSM. En este caso, también existía la posibilidad de utilizar placas de interfaz o gateways. A la hora de realizar la selección, se compararon distintos factores incluyendo codecs soportados, protocolos, funcionalidades y costos asociados. Finalmente se decidió utilizar un equipo que integre 4 SIM cards, apto para operar en el rango 850/1900 MHz. Planteado el caso a distintos distribuidores en Argentina, se decidió adquirir el modelo DWG2000E desarrollado por la firma Dinstar, por cumplir con los requerimientos propuestos a un precio conveniente con una compatibilidad del 87% según los parámetros comparados.

Finalmente, se presentó una tabla de costos asociados al equipamiento necesario para la solución de comunicaciones unificadas donde todos los elementos allí presentes fueron extraídos de las cotizaciones provistas por las empresas consultadas durante el mes de Noviembre de 2016. En base a esto, concluimos que el proyecto es tecnológicamente viable y económicamente posible. Gracias al estudio de los requerimientos del cliente y la planificación inicial de tareas, se logró cumplir exitosamente con el calendario establecido. Este proyecto nos permitió profundizar conocimientos en el campo de la telefonía IP y nos dio la posibilidad de trabajar en un proyecto real que será implementado en unos pocos meses. La solución diseñada es escalable a un número mayor de usuarios y es posible evolucionar la infraestructura mediante la adquisición de equipos de videoconferencia e implementación de las funcionalidades adicionales que brinda la solución de comunicaciones unificadas seleccionada sin costo adicional. Este proyecto podrá ser tomado como base para el diseño de soluciones similares enfocadas al entorno corporativo, aprovechando las ventajas que presenta la tecnología VoIP.

6. GLOSARIO

ACK	Acknowledgement
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
AES	Advanced Encryption Standard
ARP	Address Resolution Protocol
ATA	Analogue Terminal Adapter.
BGP	Border Gateway Protocol
BRI	Basic Rate Interface
BW	Banwidth
CAS	Channel Associated Signalling
CCS	Common Channel Signalling
CDMA	Code Division Multiple Access
CDR	Call Detail Record
CELP	Code Excited Linear Prediction
CEUNIM	Centro Universitario de Imágenes Médicas
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica
CODEC	Codificador - Decodificador
CPU	Control Process Unit
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRTP	Curiously Recurring Template Pattern
CS- ACELP	Conjugate Structure ACELP
DAHDI	Digium Asterisk Hardware Device Interface
Delay	Retardo
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DID	Direct Inward Dialling
DiffServ	Differentiated Services Internet QoS
DNS	Domain Name Service
DoS	Denial of Service
DSCP	Differentiated Services Code Point
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DTMF	Dual Tone Multi Frequency
E&M	Ear and mouth

E1	Jerarquía Europea clase 1
ECyT	Escuela de Ciencia y Tecnología
EHCP	Elastix Hardware Certification Program
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
FTTx	Fiber to the Home/Node/Building
FXO	Foreign Exchange Office
FXS	Foreign Exchange System
GIPS	Global IP Sound
GPL	General Public License
GPU	Graphics Processor Unit
GSM	Global System for Mobile Communications
H.323	Conjunto de protocolos de señalización
HDD	Hard Drive Disk
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IAX	Inter Asterisk Exchange Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
iLBC	Internet Low Bit Rate Codec
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunications Union
IVR	Interactive Voice Response
LAN	Local Area Network
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LD-CELP	Low-Delay Code Excited Linear Prediction
LFF	Large Form Factor
LLDP-MED	Link Layer Discovery Protocol – Media Endpoint Discovery
MAC	Media Access Control
MC	Multipoint Controller
MCU	Multipoint Controller Unit
MGCP	Media Gateway Control Protocol

MOS	Mean Opinion Score
MP	Multipoint Processor
MPLS	Multiprotocol Label
MP-MLQ	Multipulse LPC with Maximum Likelihood Quantization
MySQL	Sistema de gestión de base de datos
NAPTR	Name Authority Pointer
NGN	Next Generation Network
NTP	Network Time Protocol
OSI	Open System Interconnection
OSPF	Open Shortest Path First
PBX	Private Branch Exchange
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCM	Pulse Code Modulation
PET/CT	Tomografía por emisión de positrones – Tom. Computada
PHP	PHP Hypertext Preprocessor
PoE	Power over Ethernet
PRI	Primary Rate Interface
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
QSIG	Protocolo de señalización RDSI entre PBX
R2 MFC	Protocolo de señalización
RAID	Redundant Array of Inexpensive Disks
RAM	Random Access Memory
RAS	Registration, Admission and Status
RDSI	Red digital de Servicios Integrados
RIP	Routing Information Protocol
RPE-LTP	Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction
RSVP	Reservation Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
RTP	Real Time Protocol
SCCP	Skinny Client Control Protocol
SDP	Session Description Protocol
SFF	Small Form Factor
SIM	Subscriber Identity Module

SIP	Session Initiation Protocol
SMA	Conector de antena Sub Miniature version A
SMS	Short Message Service
SMSC	Short Message Service Center
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
Softphone	Teléfono en versión Software
SRTP	Secure Real time Transport Protocol
SS7	Signalling System Number 7
SSH	Secure Shell
STUN	Simple Traversal of User Datagram Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TLS	Transport Layer Security
ToS	Type of Service
TR	Technical Report
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telephone System
UNSAM	Universidad Nacional de San Martín
UPS	Uninterruptible Power Supply
URI	Uniform Resource Identifiers
USB	Universal Serial Bus
USSD	Unstructured Supplementary Service Data
VAD	Voice Activity Detection
VLAN	Virtual Local Area
VoIP	Voice over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity
XML	Extensible Markup Language

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, S. D., & García, R. V. (2012). Estudio y diseño de una red de telefonía IP para la escuela Heroes del Canepa de la Espe. Escuela Politecnica del Ejercito - Proyecto fin de carrera.
- Asterisk Gurú. (Noviembre de 2016). Obtenido de www.asteriskguru.com
- Avanzada 7. (Noviembre de 2016). *Catálogo*. Obtenido de <http://www.avanzada7.com/es/productos>
- Canal, C. (2016). Telefonía Sobre Internet (VoIP). Universidad Nacional de San Martín - Redes para telefonía y datos.
- Cisco Systems. (2000). *Voice Over IP Fundamentals*. Cisco Press.
- Cisco Systems. (2002). *Understanding Voice over IP*.
- Cruz, D. Q. (2007). Diseño e implementación de una red de telefonía IP con software libre en la RAAP. Pontificia Universidad Católica del Perú - Proyecto Fin de Carrera.
- Domínguez, J. Á. (2013). Introducción a la VoIP a través de Elastix. Universitat Oberta de Catalunya - Memoria de proyecto.
- Elastix. (Octubre de 2016). Obtenido de <http://www.elastix.org/>
- ElastixTech. (2013). *Fundamentos de Telefonía IP e Introducción Asterisk/Elastix*. Obtenido de www.elastixtech.com
- Escobedo, P. F. (2015). Diseño e implementación de una solución VoIP en un entorno empresarial. Universidad Politecnica de Madrid - Proyecto Fin de Carrera.
- García, H. V. (2014). Diseño de una red de telefonía IP con software libre para el Hospital de Vitarte. Universidad Tecnológica del Perú - Trabajo Fin de Carrera.
- Grandstream. (Noviembre de 2016). *Datasheets*. Obtenido de <https://www.grandstream.com/>
- Guerrero, D. (2007). Proyecto de migración a un sistema de telefonía IP (VoIP) basado en software libre. Universitat Oberta de Catalunya - Proyecto Fin de Master.
- Hurtado, M. E. (2010). Implementación de una red VoIP con QoS para el Hospital General Isidro Ayora de Loja. Universidad de Cuenca - Trabajo Fin de Master.
- Instituto Nacional de la Administración Pública. (2016). Curso Telefonía IP. Subsecretaría de Gestión y Empleo Público.
- Landívar, E. (2009). *Comunicaciones Unificadas con Elastix Vol. 1*. Independiente.
- Landívar, E. (2009). *Comunicaciones Unificadas con Elastix Vol. 2*. Independiente.

- Meggelen, J. V., Leif Madsen, & Jared Smith. (2007). *Asterisk: The Future of Telephony*. O'Reilly.
- Muñoz, A. (2010). *Elastix a ritmo de Merengue*. Independiente.
- Otero, O. C. (2013). Proyecto de un sistema de comunicaciones VoIP implementado con Raspberry Pi y Asterisk. Universidad Oberta de Catalunya - Trabajo Fin de Carrera.
- Quarea. (2009). *Requerimientos y Recomendaciones de Infraestructura de Red para la correcta implantación de una Solución VoIP*. Obtenido de www.quarea.com
- Sangoma. (Noviembre de 2016). *Datasheets*. Obtenido de <https://www.sangoma.com/>
- Software existente para VoIP: Asterisk. (2010). En *Migracion de un sistema de telefonía en producción hacia VoIP con Asterisk*.
- Stallings, W. (2000). *Comunicaciones y redes de computadoras*. Prentice Hall.
- Telefónica. (2002). *Entendiendo la Teconología VoIP (Una aproximación conceptual a la voz actual paquetizada)*.
- UNSAM. (2016). <http://noticias.unsam.edu.ar/>. Obtenido de Universidad Nacional de San Martín: <http://noticias.unsam.edu.ar/2015/11/06/la-unsam-presenta-el-centro-universitario-de-imagenes-medicas/>
- Valencia, O. E. (2008). Análisis comparativo de tecnologías hardware y software de plantas telefonicas basadas en VoIP e implementacion de una solución de las mismas soportadas en software libre. Universidad Tecnológica de Pereira - Trabajo de grado.
- VoIP Foro. (Octubre de 2016). QoS. Obtenido de <http://www.voipforo.com/>
- VoIP para novatos. (Noviembre de 2016). Obtenido de www.voipnovatos.es
- Wallace, K. (2009). *Cisco Voice over IP (CVOICE)*. Cisco Press.
- Wallingford, T. (2005). *Switching to VoIP*. O'Reilly.
- Wilches, J. A. (2007). Estudio y diseño de una red de telefonía de voz sobre IP para la plataforma siglo XXI. Universidad de Pamplona - Proyecto fin de carrera.
- Xorcom Ltd. (Noviembre de 2016). *Factors to Consider When Choosing between Open Source IP-PBX and Proprietary Systems*.
- Yealink. (Noviembre de 2016). *Datasheets*. Obtenido de <http://www.yealink.com/>.

8. ANEXO I: COTIZACIONES

A continuación se presentan las cotizaciones enviadas por las empresas consultadas en lo que respecta a equipamiento necesario para la implementación de la solución de telefonía en el Centro Universitario de Imágenes Médicas incluyendo los datos de contacto de cada una.

8.1 EMPRESA FREETECH

De: Lucas Arnaudo <lmarnaudo@freetechsolutions.com.ar> Enviado el: Junes 07/11/2016
Para: Julian Mascia
C: Rodrigo Montiel; Ventas Freetech
Asunto: Re: Consulta cotización

Estimado Julián:

Antes que nada, me presento: Mi nombre es Lucas y de seguro nos cruzamos en el evento.

Te paso un detalle de los ítems solicitados de los cuales solo te puedo pasar el precio de lista. En caso de que quieras armar un proyecto en donde involucres todos los productos en conjunto con soporte o instalación por parte de nuestra empresa, podemos brindarte importantes descuentos en cada uno de los ellos. -

- 1 Placa de interfaz E1/T1: Te adjunto lo que recomendamos por experiencia

Placa Sangoma A101E --> <https://www.sangoma.com/products/digital-telephony-cards/>

Precio de lista: USD 898,5 MAS IVA

- 1 Placa de interfaz GSM (Para 4 SIM): No solemos utilizar placas, lo mejor en desempeño/costo es utilizar Gateways.

Gateway GSM Dinstar DWG2000E-4G --> <http://www.dinstar.com/product/gsm/20150305427.html>

Precio de lista: USD 742,5 MAS IVA

- 38 teléfonos gama media con puertos gigabit y al menos 2 cuentas SIP (en este inciso si podés pasame 2 alternativas) : Te paso los modelos que cumplen con esas especificaciones. *De todas formas te recuerdo que independientemente de la cantidad, te paso el precio de lista y a la hora de avanzar con la cantidad final y con la totalidad del proyecto, el costo puede abarataarse significativamente.*

Yealink T42G --> [http://www.yealink.com/product_info.aspx?](http://www.yealink.com/product_info.aspx?ProductsCateID=312&parentcateid=1299&cateid=312&BaseInfoCateId=312&Cate_Id=312&index=3)

[ProductsCateID=312&parentcateid=1299&cateid=312&BaseInfoCateId=312&Cate_Id=312&index=3](http://www.yealink.com/product_info.aspx?ProductsCateID=312&parentcateid=1299&cateid=312&BaseInfoCateId=312&Cate_Id=312&index=3)

3 cuentas SIP, nuevo diseño, Yealink Optima HD Voice, PoE, EHS Support, auto-provisionable, 2 puertos de red Gigabit.

(Es el único modelo disponible, pronto dispondremos de mas modelos mas económicos con interface Gigabit)

Precio de lista: USD 205 MAS IVA

Grandstream GXP 1628 --> <http://www.grandstream.com/products/ip-voice-telephony/small-business-ip-phones/product/gxp1628>

2 cuentas SIP, 2 teclas de línea, 3 teclas XML programables, audio HD en altavoz y handset, 2 puertos de red GIGABIT, PoE. 8 teclas BLF.

Precio de lista: USD 102 MAS IVA

- 2 teléfonos para conferencias.

Grandstream GAC 2500 --> <http://www.grandstream.com/products/business-conferencing/audio-conferencing/product/gac2500>

6 cuentas SIP, una pantalla táctil capacitiva de 4 pulgadas, Ethernet con velocidad Gigabit, conferencia de voz de 7 vías

Precio de lista: USD 675 MAS IVA

Por cualquier consulta, quedo a tu disposición. Podés encontrar mi información de contacto en mi firma. -

Saludos!!

Freetech SOLUTIONS

RODRIGO F. MONTIEL
Ing. Telecomunicaciones
Cisco Certified Engineer
Mikrotik Certified
FREETSOLUTIONS.COM.AR

RODMONTIEL.2309
+54 351 2581376
+54 351 6387565 (Int. 502)
RODRIGO.MONTIEL@FREETSOLUTIONS.COM.AR

8.2 EMPRESA BITSENSE

De: Luis Amato <luisamato@bitsense.com.ar> Enviado el: miércoles 09/11/2016
Para: Julian Mascia
CC:
Asunto: Re: [Info Bitsense] Consulta

Mensaje Propuesta_CNEA.pdf (2 MB)

Julián buenos días.

Te adjunto la cotización solicitada, francamente te comento que en Bitsense nos destacamos por los servicios de valor agregado como ser una Implementación, un desarrollo o los servicios de soporte y capacitación. Con lo cual es posible que no seamos muy competitivos en Hardware.

- Actualmente contamos con especialistas certificados Dcap ([link](#)) y Cisco para llevar adelante los proyectos de telefonía haciendo especial incapié en la red de datos (lugar por donde fluyen las comunicaciones IP)
- Además nuestro grupo de Soporte cuenta con un sistema de Monitoreo que nos permite adelantarnos a los problemas que pueda surgir en la plataforma.
- Ultimamete también realizamos con hardware específico estudios y adecuación de redes Wifi apuntando al uso de las comunicaciones en esa red.

Te mando un gran saludo
Luis



04. Costo

04.1. Hardware Telefonico

Descripción	Cant.	Precio Unitario	Subtotal
Gateway E1 x1 - Sangoma Vega 100G	1	USD 2.266,67	USD 2.266,67
2N® VoiceBlue Next 4xGSM	1	USD 1.666,67	USD 1.666,67
Telefono IP - Jefe -Yealink T42G c/fuente	38	USD 218,67	USD 8.309,33
Teléfono IP - Gerentes -Yealink T46G c/fuente	38	USD 306,67	USD 11.653,33
Teléfono Conferencia - Yealink CP860	2	USD 666,67	USD 1.333,33

**Los precios están expresados en dólares Estadounidenses y NO incluyen IVA.
La cotización del dólar será tomada según el valor oficial de venta del Banco Nación**

8.3 EMPRESA HANDCELL

De: Jorge <jorge.safranchik@handcell.com.ar> Enviado el: lunes 07/11/2016
Para: 'Julian Mascia'
CC:
Asunto: RE: Cotización

Mensaje gxp1628_english_datasheet.pdf (508 KB) GAC2500_Spanish_datasheet.pdf (761 KB)

Julian, gracias por tu contacto.

Te paso los precios:

- 1 Placa de interfaz E1/T1

Marca: ATCom

Modelo: AXE1-DL

PCI Express + 1 E1

Precio unitario: **U\$S 470 + IVA 10.5%**

Información en: <http://www.handcell.com.ar/Productos/Atcom-AXE1DL>

- 1 Placa de interfaz GSM (Para 4 SIM)

Marca: ATCom

Modelo: AXE-4GN

PCI Express + 4 canales GSM

Precio unitario: **U\$S 490 + IVA 10.5%**

Información en: <http://www.handcell.com.ar/Productos/Atcom-AXE4GN>

- 38 teléfonos gama media con puertos gigabit y al menos 2 cuentas SIP (en este inciso si podés pasame 2 alternativas)

Marca: Grandstream

Modelo: GXP1628

2 líneas SIP + POE + 2 puertos Gigabit

Precio unitario: **U\$S 95 + IVA 10.5%**

Información: folleto adjunto

- 2 teléfonos para conferencias.

Marca: Grandstream

Modelo: GAC2500

6 líneas SIP

Precio unitario: **U\$S 630 + IVA 10.5%**

Información: folleto adjunto

Condiciones:

- a. Precios expresados en Dólares sin IVA.
- b. Tipo de cambio oficial vendedor del día de pago.
- c. Entrega inmediata.**
- d. Garantía de 1 año por defectos de fabricación.
- e. Forma de pago: contado contra entrega.
- f. Depósito bancario:
 - a. CITIBANK
 - b. Titular: HAND CELL SA
 - c. CUIT 30-70196593-7
 - d. Cuenta Corriente en pesos 0-198739-812
 - e. CBU 0167777-100001987398120

Ing. Jorge Safranchik
Director

HAND CELL S.A.

25 de Mayo 332 Piso 4º

(1002) Ciudad de Buenos Aires

Argentina

+(54-11) 5217-0876

www.handcell.com.ar

8.4 EMPRESA ATN

De: Ventas ATN <ventas@atn.com.ar> Enviado el: miércoles 09/11/2016
Para: Julian Mascia
CC:
Asunto: Re: Cotización

Mensaje

Sangoma a101 - Brochure.pdf (775 KB)	Sangoma E1 - Asterisk.pdf (486 KB)
Sangoma E1 - Instalacion en Asterisk.pdf (125 KB)	NeoGate TG Series - Brochure.pdf (2 MB)
Modulo GSM.jpg (50 KB)	NeoGateTG400 Features.jpg (45 KB)

Gracias Julian por contactarnos a continuación adjunto info y cotizo...

01 Placa E1 Sangoma a101 -----> \$21.000 + IVA
01 Gateway NeoGate TG400 -----> \$17.500 + IVA
38 Teléfonos Grandstream GXP 1628 -----> \$1.700 ----> \$64.600 + IVA
02 Teléfonos de Conferencia Polycom IP 5000 --> \$16.000 ----> \$32.000 + IVA

Estamos en ONCE

Catamarca 177, 3er Piso, OF 15, Capital.
De Lunes a Viernes, de 9 a 18Hs.

También realizamos envíos a domicilio, el costo en capital es de \$250. Pueden abonar todo contra entrega.

Despachos al interior del País, SIN CARGO.

Formas de Pago

Transferencias, Cheque o Efectivo.

Plazo de Entrega

Inmediato.

Validez de la Oferta

15 días.

Garantía

1 años, cambio directo.

Por favor, CONFIRMAR RECEPCIÓN y sino se entiende algo o ante cualquier duda, llamar. GRACIAS!

[Acceda Aquí a la Tienda Virtual ATN](#)

Departamento de Ventas

Ventas@ATN.com.ar

VoIP (54-11) 6091-8590 al 99 - Opción 2

ATN Comunicaciones & Sistemas

ATNea PBX VoIP & Virtual Carrier, VoIP for Humans & La Secretaria Perfecta

8.5 EMPRESA PROVETEL

De: Juan Cruz Reus <juancruz@provetel.com.ar> Enviado el: lunes 07/11/2016 10:00
Para: Julian Mascia
CC:
Asunto: RE: Cotización

Hola Julian, como estas

Te paso los precios

Sangoma A101 \$ 10.200 + iva 10.5% / A101D con canc de eco \$ 18.700 + iva 10.5%

Dinstar GSM 4p \$ 8.415 + iva 10.5%

Grandstream GXP2130 \$ 1.700 + iva 21% (teléfono con puertos gigabit)

Para conferencias tengo estos equipos

Grandstream GAC2500 \$ 7650 + iva 21%

Polycom IP5000 \$ 10.540 + iva 21%

Cualquier duda consultame

Saludos

Juan Cruz Reus t. +54 11 4953 5173
PROVETEL web: www.provetel.com.ar
msn: juancruz@provetel.com.ar



8.6 EMPRESA TELINTEC

De: Cesar Mazzolenis <cesar.mazzolenis@telintec.com.ar> Enviado el: jueves 10/11/2016 10:00
Para: Julian Mascia
CC: Diego - Telintec
Asunto: Re: Cotización

Mensaje Presupuesto 1 Alt. Grandstream.pdf (80 KB) Presupuesto 2 Alt. Yealink.pdf (81 KB)

Julian:

Te paso 2 presupuestos, uno con teléfonos Grandstream y el otro con teléfonos Yealink. Ambos son de calidad similar, el primero es un poco más económico. En ambos incluí los servicios de implementación.

Como te comentaba, el server es un equipo más que holgado para esta aplicación, está configurado con 1 disco de 1 TB, fuente redundante y HP CarePack por 3 años (garantía extendida con reemplazo de partes).

Tené en cuenta que están armados con los precios por unidad, al momento de avanzar vemos que ajuste se puede hacer por el proyecto en su conjunto.

Por otro lado, los servicios de soporte mensual remoto serían de u\$s 220.- + IVA 21% mensuales, con cobertura dentro del horario de Lunes a Viernes de 9 a 18 hs. Los soportes fuera de ese horario o los presenciales tienen un costo extra.

En todos los casos los precios son en USD, se pagan en \$ al cambio oficial BNA tipo vendedor del día de pago.

Cualquier duda o cosa que necesiten no duden en avisarnos.

Saludos,

Cesar



Ing. Cesar Mazzolenis
Tel. Of. 3221-8191 / 9050
Cel. 15-6199-9366
Email: cesar.mazzolenis@telintec.com.ar
Web: www.telintec.com.ar

Estimado
Universidad Nacional de San Martín

Atención Julián Federico Mascia
 Yapeyú 2068
 1650 San Martín
 Buenos Aires

TELINTEC

Sarmiento 1462 4to D
 Ciudad Autónoma de Buenos Aires
 Teléfono +54 11 5365 5780
 Mail: info@telintec.com.ar
 www.telintec.com.ar
 CUIT 20-27913581-5

Presupuesto Número PRE2038
Proyecto ToIP nuevo edificio

Pos	Cantidad	Descripción	Precio Unitario (sin IVA)	Sub Total (sin IVA)	Descuento	Precio Neto (sin IVA)	Impuesto (%)	Impuesto (USD)	Total
1	1,00	DL120 GEN9 - 8G Server HP Proliant DL120 Gen9 - 8G (1 x HDD 1TB, Dual Power, HP Carepack 3 años)	2994,40	2994,40	0,00	2994,40	10,50	314,41	3308,81
2	1,00	Unidad MTG200 Gateway 1puerto E1	1032,00	1032,00	0,00	1032,00	10,50	108,36	1140,36
3	1,00	Unidad DWG2000-4G Gateway 4 puerto GSM	638,55	638,55	0,00	638,55	10,50	67,05	705,60
4	1,00	Unidad DAG1000-4S40 Gateway 4 puertos FXS & 4 puertos FXO	381,35	381,35	0,00	381,35	10,50	40,04	421,39
5	38,00	Unidad GXP1628 2 cuentas SIP, 2 teclas de línea, 3 teclas XML programables, audio HD en altavoz y handset. 2 puertos de red GIGABIT, PoE. 8 teclas BLF.	92,05	3497,90	0,00	3497,90	21,00	734,56	4232,46
6	2,00	Unidad GAC2500 El GAC2500 es la solución ideal para la salas de conferencia, ya que ofrece una excelente calidad de audio a todos los participantes en salas de conferencias, salas de juntas y oficinas. Incluye soporte para 6 líneas con hasta 6 cuentas SIP, una pantalla táctil capacitiva de 4.3 pulgadas, Ethernet con verlocidad Gigabit, conferencia de voz de 7 vías y conexión en casada.	591,75	1183,50	0,00	1183,50	21,00	248,54	1432,04
7	1,00	Unica Vez Puesta en Marcha Puesta en marcha de solución	3000,00	3000,00	0,00	3000,00	21,00	630,00	3630,00
Total IVA Incluidos									14870,66
Gastos Manipulación/Transporte									0,00
Impuestos Manipulación/Transporte									0,00
Ajuste									0,00
Total (USD)									14870,65

Descripción:

Teminos y Condiciones:

El hardware ofertado tiene 1 año de garantía desde la fecha de compra con factura, caja y accesorios en las mismas condiciones que los entregados.

Fecha de Creación 10-11-2016

Estimado
Universidad Nacional de San Martín

Atención Julián Federico Mascia
 Yapeyú 2068
 1650 San Martín
 Buenos Aires

TELINTEC
 Sarmiento 1462 4to D
 Ciudad Autónoma de Buenos Aires
 Teléfono +54 11 5365 5780
 Mail: info@telintec.com.ar
 www.telintec.com.ar
 CUIT 20-27913581-5

Presupuesto Número PRE2039
Proyecto ToIP nuevo edificio

Pos	Cantidad	Descripción	Precio Unitario (sin IVA)	Sub Total (sin IVA)	Descuento	Precio Neto (sin IVA)	Impuesto (%)	Impuesto (USD)	Total
1	1,00	DL120 GEN9 - 8G Server HP Proliant DL120 Gen9 - 8G (1 x HDD 1TB, Dual Power, HP Carepack 3 años)	2994,40	2994,40	0,00	2994,40	10,50	314,41	3308,81
2	1,00	Unidad MTG200 Gateway 1puerto E1	1032,00	1032,00	0,00	1032,00	10,50	108,36	1140,36
3	1,00	Unidad DWG2000-4G Gateway 4 puerto GSM	638,55	638,55	0,00	638,55	10,50	67,05	705,60
4	1,00	Unidad DAG1000-4S40 Gateway 4 puertos FXS & 4 puertos FXO	381,35	381,35	0,00	381,35	10,50	40,04	421,39
5	38,00	Unidad T42G cuentas SIP, nuevo diseño, Yealink Optima HD Voice, PoE, EHS Support, auto-provisionable, 2 puertos de red Gigabit. No incluye fuente	197,25	7495,50	0,00	7495,50	21,00	1574,06	9069,56
6	2,00	Unidad CP860 El teléfono de conferencia CP860 Yealink IP es una opción perfecta para la sala de conferencias pequeñas y medianas empresas y permite reuniones hasta 16 personas con sus micrófonos de expansión opcionales. Le terminal de audio conferencia CP860 es un conjunto de tecnología para obtener el mejor sonido. Incluye la tecnología de sonido "optima HD," dispone de 3 micrófonos integrados para alcance 360°, es full-duplex y dispone de una cancelación de ruido muy potente. PoE. NO INCLUYE FUENTE	707,00	1414,00	0,00	1414,00	0,00	0,00	1414,00
7	40,00	Unidad Fuente Fuente Generica para telefonos Yealink.	12,00	480,00	0,00	480,00	0,00	0,00	480,00
8	1,00	Unica Vez Puesta en Marcha Puesta en marcha de solucion	3000,00	3000,00	0,00	3000,00	21,00	630,00	3630,00
Subtotal (sin IVA)						17435,80		2733,92	20169,72
Descuento									
Total IVA Incluidos									20169,72
Gastos Manipulación/Transporte									0,00
Impuestos Manipulación/Transporte									0,00
Ajuste									0,00
Total (USD)									20169,72

8.7 EMPRESA SIGNAL

		<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">X</div>	<p style="text-align: center;">PRESUPUESTO</p> <p style="text-align: center;">N° 00007622</p>		
<p style="text-align: center;">CIGNAL IT S.R.L.</p> <p style="text-align: center;">Talcahuano 448 Piso 7 Dto A C.P.: 1013 - CABA - Argentina Tel.: (54 011) -5260-5031 Fax: (54 011)-4373-5332 http://www.signal.com.ar</p>		<p style="text-align: center;">CABA, 11 de noviembre de 2018</p> <p style="text-align: center;">C.U.I.T.: 30-71489776-0 IVA Responsable Inscripto Inicio Act.: 08/2015</p>			
<p>At:</p> <p>Julián Federico Mascia COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA - CNEA</p> <p>Referencia:</p>					
Cant.	Part Number	Descripción	P. Unitario	IVA	P. Total
1.00	S100	YEASTAR S100 CENTRAL IP 100INT IP_AMPLIABLE. TRAMA E1	16.271,13	10,50%	16.271,13
1.00	EX30	Yeastar placa trama E1 para S100 EX30	16.185,49	10,50%	16.185,49
4.00	GSMMODULE	Modulo GSM YEASTAR para una línea	3.887,94	10,50%	15.551,77
38.00	T23G	Teléfono IP Yealink T23G - 3 cuentas SIP - Pantalla 132x64 píxeles con luz de fondo - Dos puertos Gigabit Ethernet - Alimentación POE - incluye Fuente	2.475,66	21,00%	94.075,08
2.00	CP860	Teléfono IP para conferencias Yealink CP860 - Compatible con protocolo SIP - Sonido HD, Full Dúplex, 360° - Elimina el ruido de fondo - Expandible con 2 micrófonos adicionales - Toma jack 3,5 para conexión de PC o móviles - PoE, puerto Ethernet 10/100	11.253,00	21,00%	22.506,00
			Subtotal	\$	164.589,46
			Total IVA 10,5%	\$	4.561,88
			Total IVA 21%	\$	20.233,08
			Total Impuestos	\$	24.794,96
Son Pesos: ciento sesenta y cuatro mil quinientos ochenta y nueve con cuarenta y seis/cien			Total	\$	164.589,46
<p>Validez de la Oferta: 14 días.</p> <p>Forma de Pago: Efectivo, depósito bancario ó transferencia por CBU</p> <p>Condiciones de pago: A Convenir</p> <p>Plazo de entrega: Consultar con su vendedor</p> <p>Lugar de entrega: CIGNAL: Talcahuano 448 Piso: 7 Dto.: A C.P.: C1013AAI - CABA - CABA - Argentina</p>					

9. ANEXO II: DATASHEETS

Servidor HP Proliant DL120 Generation 9

<https://www.hpe.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/c04447806.pdf>

Servidor IBM x3250 M4

<https://www-07.ibm.com/sg/manufacturing/pdf/STG/M4/x3250M4.pdf>

Servidor Dell Poweredge R430

<http://www.dell.com/us/business/p/poweredge-r430/pd>

Placa de Interfaz E1/T1 Sangoma A101D

<http://www.sangoma.com/products/digital-telephony-cards/>

Placa de Interfaz E1/T1 ATCom ACE1

<http://www.atcom.cn/shz.html>

Gateway E1/T1 Dinstar MTG200

<http://www.dinstar.com/product/e1/20150116222.html>

Gateway E1/T1 Sangoma Vega 100

<http://www.sangoma.com/products/vega-100/>

Teléfono IP Grandstream GXP-1628

<http://www.grandstream.com/products/ip-voice-telephony/basic-ip-phones/product/gxp1628>

Teléfono IP Yealink T-42G

http://www.yealink.com/product_info.aspx?ProductsCatelD=312&parentcateid=1299&cateid=312&BaseInfoCatelD=312&Cate_Id=312&index=3

Teléfono para conferencias Grandstream GAC-2500

<http://www.grandstream.com/products/business-conferencing/audio-conferencing/product/gac2500>

Teléfono para conferencias Yealink CP-860

http://www.yealink.com/product_info.aspx?ProductsCatelD=1271

Gateway GSM Yeastar TG400

<http://www.yeastar.com/voip-gsm-gateway-tg400/>

Gateway GSM 2N Voice Blue Next

<http://www.2n.cz/en/products/gsm-gateways/voip/voiceblue-next/>

Gateway GSM Dinstar DWG2000E

<http://www.dinstar.com/product/gsm/20150305427.html>

Central telefónica pequeñas empresas Yeastar S100

<http://www.yeastar.com/s-series-voip-pbx/>