



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



***DISEÑO DE UNA RED DE VOZ SOBRE IP  
PARA UNA EMPRESA QUE DESARROLLA  
PROYECTOS DE INGENIERIA DE  
COMUNICACIONES***

***Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico***

Presentado por:

Juan Carlos Fernández Zarpán

Lima - PERÚ

2008

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis titulado “Diseño de una Red de Voz sobre IP para una empresa que desarrolla proyectos de Ingeniería de Comunicaciones” trata acerca del desarrollo de un estudio realizado a los sistemas de comunicación de voz y datos de una empresa perteneciente al rubro de Ingeniería de Comunicaciones, para implementar Voz sobre IP sobre sus redes de datos disponibles.

El desarrollo de la tesis comprende el estudio de la tecnología actual disponible en la empresa, identificando las limitaciones que tiene el servicio disponible actualmente y como podemos solucionar estos problemas con la implementación de una nueva tecnología en este caso denominada Voz sobre IP.

La tecnología de Voz sobre IP consiste en aprovechar las redes de datos para cursar tráfico de voz por ellas y ahorrar costos que implica la utilización de una sola red tanto para voz como para datos. La voz es digitalizada y dividida en pequeños paquetes IP los cuales viajan a través de la red de datos y son reensamblados en el terminal de destino para reconstruir la señal de voz.

El objetivo de la tesis es diseñar una red de Voz sobre IP que pueda soportar tráfico de voz entre los locales de una empresa a costo cero, ofreciendo una buena calidad de servicio y que tenga interoperabilidad con la Red Telefónica Pública. Para esto se utilizará la red de datos con la que cuenta actualmente la empresa.

El desarrollo de la tesis se divide en cuatro capítulos los cuales de forma secuencial abarcan el estudio previo de los sistemas de comunicaciones, identificando los problemas que se vienen suscitando; luego se desarrollan las herramientas teóricas sobre las cuales se sustentará nuestra solución. A continuación se muestra el universo de tecnologías disponibles para desarrollar la solución, culminando en el último capítulo con el diseño de la solución propuesta sustentada en cálculos matemáticos y requerimientos hallados por parte de la empresa así como la tecnología actual con que cuentan sus sistemas de comunicaciones.

**INDICE**

## INTRODUCCION

## CAPITULO 1: SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE VOZ EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES

1.1.	Evolución y desarrollo de las telecomunicaciones	1
1.2.	El sector de Telecomunicaciones en el Perú	1
1.3.	Demanda de proyectos de telecomunicaciones en el Perú	3
1.4.	Recursos humanos que participan en el desarrollo de proyectos de telecomunicaciones	3
1.5.	Necesidades de comunicación en una empresa para la prestación de servicios	4
1.6.	Situación actual de los procesos de comunicación de una empresa de telecomunicaciones	5
1.7.	Deficiencias percibidas en los procesos de comunicación de voz actual usados en la empresa	8
1.8.	Declaración del marco problemático	9

## CAPITULO 2: INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN BASADO EN LA TECNOLOGIA VOIP.

2.1.	Estado del arte	10
2.1.1.	Presentación del asunto en estudio	10
2.1.2.	Estado de la investigación	11
2.1.3.	Síntesis sobre el asunto de estudio	13
2.2.	Redes de Datos	15
2.2.1.	Modelo OSI	15
2.2.2.	Redes IP	16
2.3.	Definición de Voz sobre IP	16
2.3.1.	Protocolos de señalización utilizados en VoIP	17
2.3.1.1.	Protocolo H.323	17
2.3.1.2.	Protocolo de Inicio de Sesión (SIP)	17
2.3.1.3.	Protocolo Inter Asterisk eXchange (IAX)	17
2.3.2.	Protocolos de aplicación y transporte utilizados en VoIP	17

2.3.2.1.	Protocolos UDP y TCP	18
2.3.2.2.	Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP)	18
2.3.2.3.	Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real (RTCP)	18
2.3.2.4.	Protocolo de Transporte en Tiempo Real Comprimido (cRTP)	18
2.3.3.	Factores que intervienen en la Calidad de Servicio (QoS)	19
2.3.3.1.	Jitter	20
2.3.3.2.	Latencia	20
2.3.3.3.	Pérdida de Paquetes	21
2.3.3.4.	Eco	21
2.4.	Desarrollo del Modelo Teórico para el diseño de una red IP para transmisión de voz	22
2.5.	Principales indicadores a tener en cuenta en el diseño de una red VoIP	24

### CAPITULO 3: ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS Y PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED.

3.1.	Hipótesis	26
3.1.1.	Hipótesis Principal	26
3.1.2.	Hipótesis Secundarias	26
3.2.	Objetivos	27
3.2.1.	Objetivo Principal	27
3.2.2.	Objetivos Específicos	27
3.3.	Dimensionamiento de la Red	28
3.3.1.	Modelos de Tráfico	28
3.3.2.	Codecs de voz y cálculo de ancho de banda	32
3.4.	Protocolos de Señalización	34
3.5.	Equipos	37
3.5.1.	Servidor	38
3.5.2.	Terminales	40
3.5.3.	Gateway de Voz	41
3.5.4.	Dispositivos para datos	42
3.6.	Propuesta de Diseño	43

### CAPITULO 4: DISEÑO DE LA RED, PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.	Cálculo del ancho de banda de la Red	44
4.1.1.	Cálculo del número de líneas telefónicas	44

4.1.2. Elección del codec de voz y ancho de banda	47
4.2. Elección y configuración de equipos	50
4.2.1. Servidor SIP	50
4.2.1.1. Plan de marcación	54
4.2.1.2. Configuraciones SIP	56
4.2.2. Equipos Terminales	57
4.2.3. Gateway de Voz Analógico	59
4.2.4. Dispositivos para datos	60
4.3. Diseño de la Red	61
4.3.1. Plan de Direccionamiento	62
4.3.2. Diagrama del diseño realizado	63
4.3.3. Diagramas de operación de la Red	66
4.4. Pruebas y Resultados	68
4.4.1. Equipos y software utilizados para realizar las pruebas	68
4.4.2. Pruebas de consumo de Ancho de Banda	70
4.4.3. Prueba de capacidad del servidor VoIP	76
4.4.4. Prueba de capacidad de los equipos de red	79
4.5. Análisis de costos	81
4.5.1. Servicios	81
4.5.2. Presupuesto	81
4.5.3. Rentabilidad del proyecto	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFIA	88
ANEXOS	

## INTRODUCCION

En los tiempos actuales la información juega un papel importante en el desarrollo de las sociedades. Teniendo en cuenta la importancia de esta, es que esta era en particular es llamada la Sociedad de la Información.

El desarrollo de las telecomunicaciones y la informática es la base de este desarrollo y la apertura de la información, es decir, que el acceso a ésta no sea mas solamente para una élite privilegiada sino que pueda llegar a la mayoría de sectores para poder tener beneficio de ella.

Con el mundo prácticamente trabajando sobre tecnología digital gracias a la electrónica, no se tardó mucho en implementar cada vez soluciones más sofisticadas en el campo de las telecomunicaciones. Con la aparición y popularización de las redes de datos con el ejemplo más grande en la Internet, los usuarios requieren de nuevas necesidades cada vez, como el acceso a información multimedia desde cualquier lugar que lo requiera.

Uno de los campos que despertó mucho interés en mí, fue la de la transmisión de la voz por las redes de datos, aprovechando la tecnología como el protocolo TCP/IP el cual es actualmente un estándar en casi todas las redes de datos en el mundo, y otras tecnologías como la posibilidad de digitalizar la voz utilizando dispositivos electrónicos para poder ser enviados por las redes de datos en pequeños paquetes IP. Al parecer un proceso bastante sencillo, pero en el fondo tiene temas que no son tan visibles para el usuario final, tales como la calidad de servicio, calidad de la voz, manejo eficiente del ancho de banda utilizado para transmitir por las redes de datos y otros más los cuáles serán tratados en el presente documento.

El tema de tesis que se desarrollará a continuación se titula “Diseño de una Red de Voz sobre IP para una empresa que desarrolla proyectos de Ingeniería de Comunicaciones” y se trata justamente de elaborar un diseño para transmitir la voz por las redes de datos existentes y por el cual se paga una tarifa plana, y poder así ahorrar costos de llamadas entre los locales de la empresa que actualmente se deben cursar por la Red Telefónica Pública pagando por ello un costo adicional por utilizar una infraestructura más cara.

En el capítulo 1 se verán los antecedentes de los sistemas de comunicación de voz y datos y el sistema actual que posee la empresa para dichas comunicaciones, evaluando los inconvenientes registrados para dar paso al marco problemático.

En el capítulo 2, se tratará el marco teórico en el cual se describen las herramientas necesarias que debemos conocer para poder dar solución al marco problemático encontrado en el capítulo anterior.

En el capítulo 3, se extiende el universo de alternativas de solución al marco problemático ya que se manejan las herramientas teóricas aprendidas en el capítulo 2.

En el capítulo 4, se realiza el diseño eligiendo cuidadosamente la solución, para ello se utiliza cálculos que nos van ayudando a encontrar los valores requeridos y a la vez nos ayudan de alguna manera a realizar elecciones de equipos y protocolos adecuados, de acuerdo a los requerimientos recogidos.

Finalmente, se culmina dando las recomendaciones y mostrando las conclusiones a las que se ha llegado después de realizar el estudio del caso y el desarrollo de la tesis.

## CAPITULO 1

### SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE VOZ EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES

#### **1.1. Evolución y desarrollo de las telecomunicaciones.**

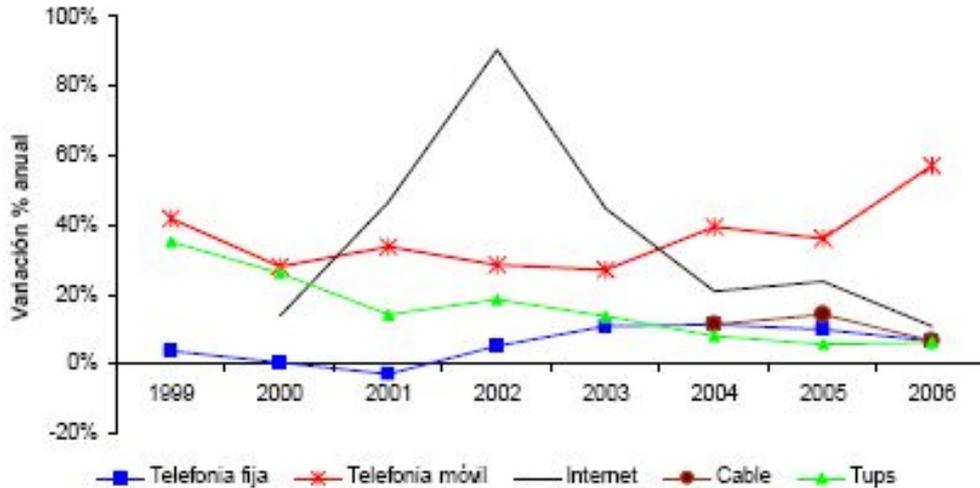
La tecnología es una herramienta básica para el desarrollo de la humanidad. Con el tiempo hemos sido testigos de grandes avances tecnológicos y de avances de la ciencia en diversas ramas lo cual trae consigo mayor bienestar y satisfacción para las personas.

Las Telecomunicaciones es un campo que ha evolucionado gracias a los avances de la electrónica. Sin duda uno de los más grandes inventos en la historia de las comunicaciones, fue el teléfono. Desde entonces los procesos de comunicación han ido evolucionando en busca de llegar a tener comunicación a nivel mundial lo cual se viene logrando progresivamente.

#### **1.2. El sector de Telecomunicaciones en el Perú**

El sector telecomunicaciones en Perú ha sufrido grandes cambios desde el inicio de la Reforma del sector a mediados de la década de los 90.

Los principales servicios que se brindan en el Perú son la telefonía fija, la telefonía móvil, el acceso a Internet, la telefonía Pública y la de televisión por cable. En la figura 1.1 podemos observar la evolución de estos servicios en el crecimiento del mercado de telecomunicaciones peruano. [29]



Fuente: Empresas Operadoras.  
Elaboración: Gerencia de Políticas Regulatorias – OSIPTEL.

Figura 1.1. Crecimiento del Mercado Peruano de Telecomunicaciones

Según cifras proporcionadas por el Osiptel<sup>1</sup> el servicio de telefonía fija, creció de 0.67 millones de líneas instaladas, con una penetración de 2.9 líneas por cada 100 habitantes en 1993, a 2.4 millones con una penetración de 8.73 líneas por cada 100 habitantes en Diciembre de 2006. Para los servicios móviles el crecimiento fue de 0.08 millones de líneas con una penetración de 0.3 líneas por cada 100 habitantes en 1995, a 8.772 millones de líneas con una penetración de 3.192 líneas por cada 100 habitantes a Diciembre de 2006, cabe resaltar que el crecimiento en este sector sigue teniendo una tendencia exponencial. Para los servicios de Internet el indicador principal es el número de accesos, el cual fue de 833.2 mil accesos en el 2005, mientras que a Diciembre de 2006 se tuvieron 1.03 millones. Teniendo crecimientos de 23% y 24% para los años 2006 y 2005 respectivamente.

Por lo tanto podemos concluir que el sector de telecomunicaciones en el mercado peruano viene experimentando crecimientos importantes, lo cual genera mayor demanda y oferta de trabajo en este sector.

<sup>1</sup> Extraído del Compendio de Estadísticas de los Mercados de Servicios Públicos de Telecomunicaciones en el Perú al 2006.

### 1.3. Demanda de proyectos de telecomunicaciones en el Perú.

Al estar el sector de las telecomunicaciones en un gran auge, se demandan proyectos de diversas dimensiones. Desde las empresas privadas pequeñas que demandan soluciones de conectividad tanto en el mismo local como con sus oficinas, hasta las empresas operadoras que necesitan instalación de nueva infraestructura para seguir expandiéndose y lograr brindar servicios a lugares donde antes no llegaban o simplemente ante el crecimiento de consumidores necesitan ampliar su red.

La empresa elegida para la presente tesis se dedica al desarrollo de proyectos de ingeniería de comunicaciones, tanto para el sector rural como para el sector urbano; ofreciendo soluciones en las áreas de networking, tecnologías de acceso de línea de bucle de abonado (Digital Subscriber Line – DSL), comunicaciones por satélite, enlaces de fibra óptica, enlaces de radio, multiacceso de radio para SCADA (monitoreo y control). Además de ofrecer servicios de consultoría en ingeniería y en instalación.

### 1.4. Recursos Humanos que participan en el desarrollo de proyectos de telecomunicaciones

Los principales recursos humanos que se encuentran laborando en una empresa desarrolladora de proyectos de telecomunicaciones, son definitivamente los Ingenieros de Proyectos especializados en algún área específica de las telecomunicaciones. Para el caso particular de la empresa en estudio, por ser una empresa pequeña, solo cuenta con cuatro áreas claramente distinguidas: gerencia, administración, ingeniería y ventas. Todas estas áreas deben interactuar, algunas de forma más frecuente que otras dependiendo de la dimensión y el tipo de proyecto solicitado para llevar a cabo el contacto con el cliente, el análisis de campo, la solución y la venta final del proyecto.

A continuación se muestra en la figura 1.2 el diagrama organizacional de la empresa en estudio.

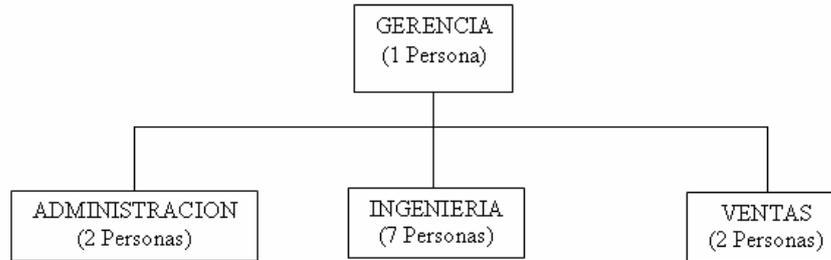


Figura 1.2. Diagrama Organizacional de la empresa en estudio.

La distribución de estas diferentes áreas dentro de los locales de la empresa se detalla en el cuadro 1.1

Local	Área	Número de empleados
Principal: Chacarilla	Gerencia	1
	Administración	2
	Ingeniería	7
Remoto 1: Camino Real	Ventas	1
Remoto 2: Jockey Plaza	Ventas	1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 1.1. Distribución de áreas de la empresa dentro de los locales.

### 1.5. Necesidades de comunicación en una empresa para la prestación de servicios

Como cualquier otra empresa, la interacción entre los empleados tanto de una misma área como de distintas es indiscutible. La comunicación es un factor importante a tener en cuenta para lograr una buena productividad, por lo tanto es un recurso muy importante.

Para el caso de desarrollo de proyectos la coordinación entre los mismos empleados y, empleados – clientes, es fundamental. Ante esta necesidad, las formas de comunicación más populares son el correo electrónico y la telefonía, siendo ésta última la más usada cuando se necesita una comunicación rápida y eficiente.

1.6. **Situación actual de los procesos de comunicaciones de una empresa de telecomunicaciones.**

En la actualidad las empresas pequeñas rentan líneas telefónicas y ellos son los que administran sus líneas utilizando una centralita privada conocida como PBX, ya sea propia o alquilada por el mismo proveedor de servicios.

La PBX es un equipo de telefonía diseñado para lograr la conmutación de circuitos igual que en las centrales de conmutación pero con un menor número de abonados como es una pequeña empresa.

La empresa de telecomunicaciones a la cual se refiere la presente investigación cuenta con la siguiente infraestructura tecnológica para el proceso de comunicación de voz:

- Una centralita PBX Panasonic, con entrada para 4 líneas troncales analógicas (4 líneas conectadas) y salida para 8 anexos de teléfonos análogos (8 teléfonos conectados), en el local principal Chacarilla.
- Una línea telefónica analógica adicional en el local principal Chacarilla para el área de ingeniería.
- Una línea telefónica analógica en el local remoto de Camino Real
- Una línea telefónica analógica en el local remoto de Jockey Plaza

El diagrama de la red actual de la empresa en estudio se muestra en la figura 1.3.

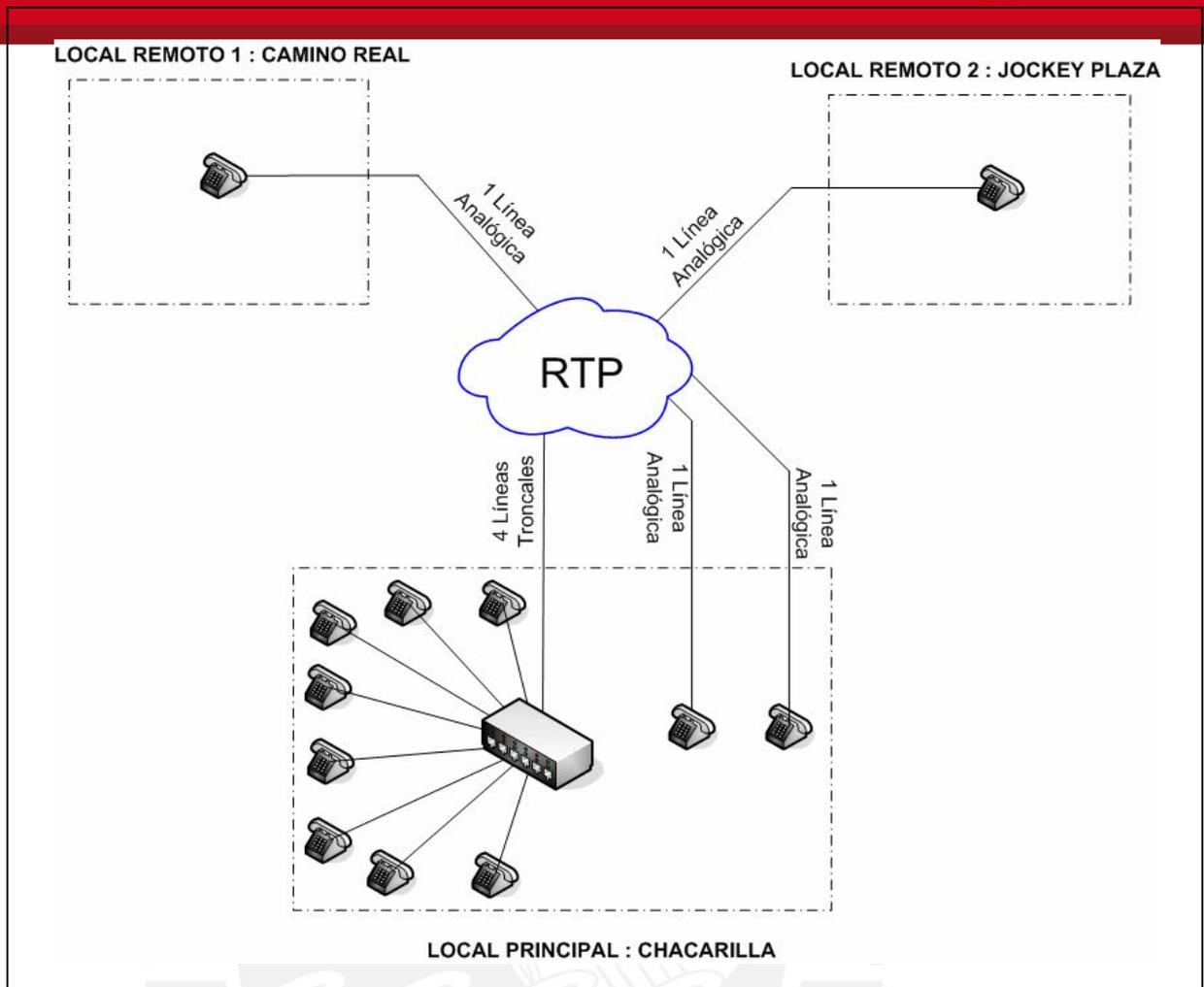


Figura 1.3. Diagrama de la Red de Voz actual.

Asimismo, se cuenta con la siguiente infraestructura para la comunicación de datos:

- Dos líneas ADSL: una de 2048/512 kbps y otra de 900/256 kbps en el local principal Chacarilla.
- Firewall, switches, routers, access points y un servidor web en el local principal Chacarilla
- Una línea ADSL de 900/256 kbps en el local remoto Camino Real.
- Una línea ADSL de 900/256 kbps en el local remoto Jockey Plaza.

El diagrama de la red actual de la empresa en estudio se muestra en la figura 1.4.

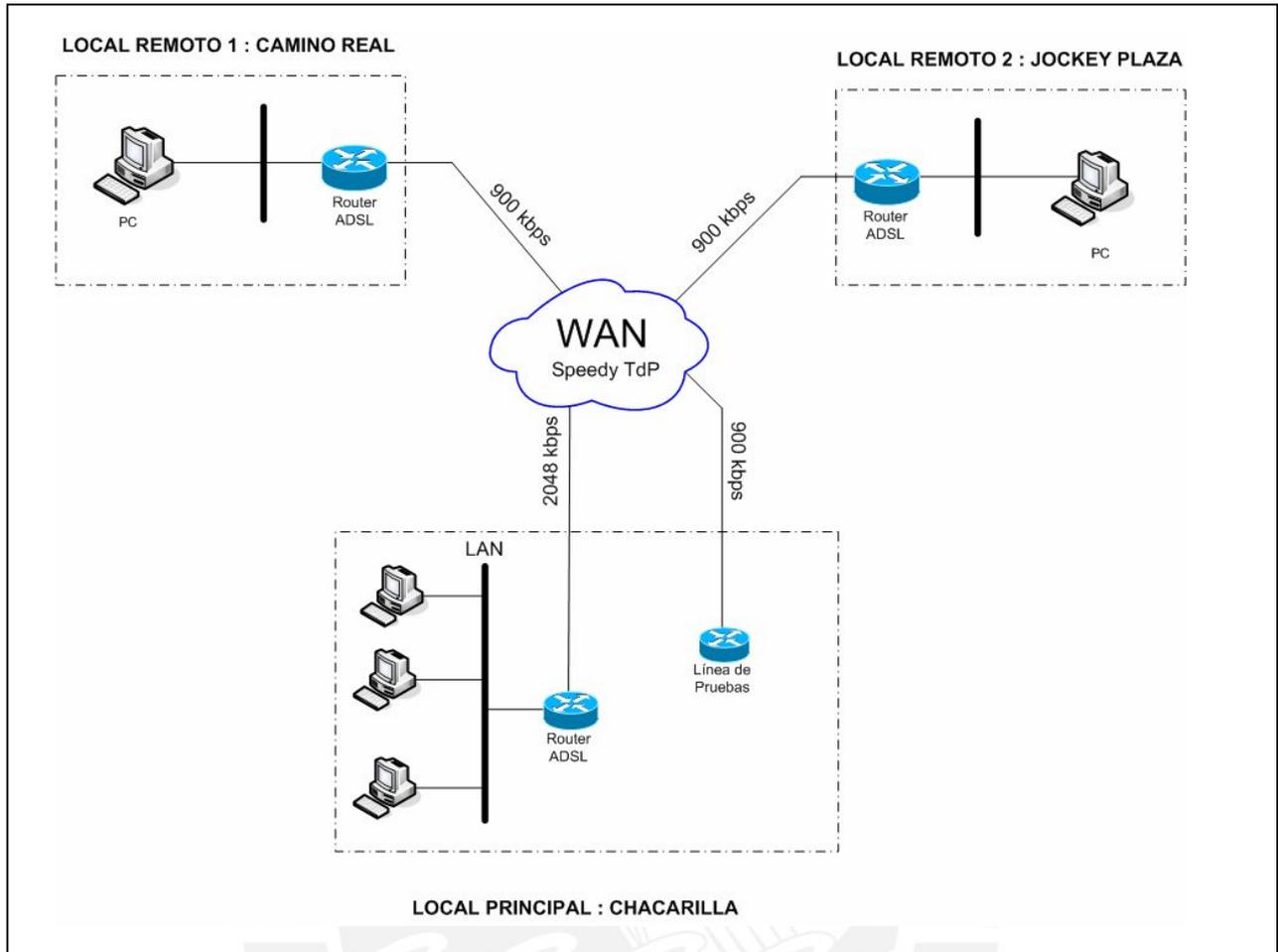


Figura 1.4. Diagrama de Red de Datos actual.

1.7. **Deficiencias percibidas en los procesos de comunicación de voz actual usados en la empresa**

**Variables internas**

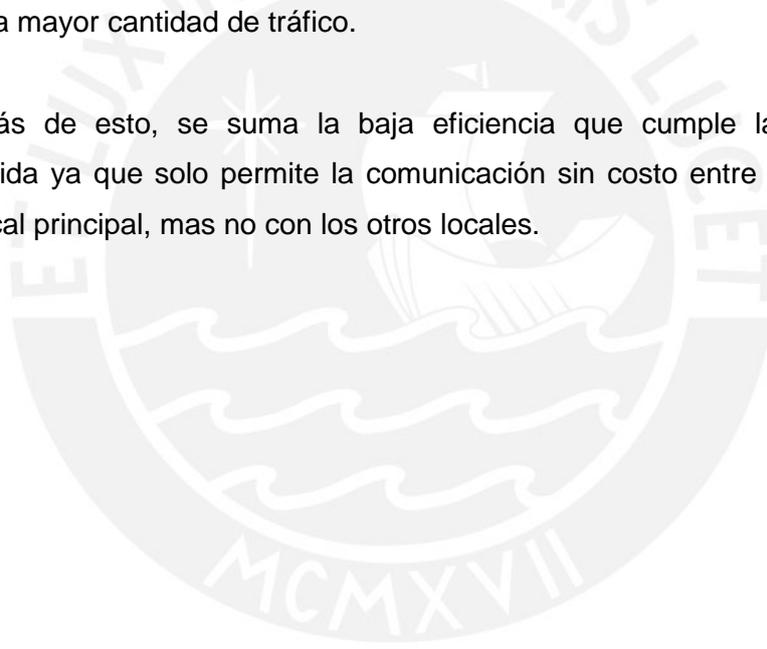
Hechos	Problemas y Causas
1) Uso frecuente de la comunicación de voz	A pesar de las rebajas de tarifas de la telefonía tradicional, los costos por usar una red dedicada exclusivamente a transmitir voz son más altos debido a que se utiliza mayores recursos de hardware.
2) Algunas líneas telefónicas pertenecen a una centralita y otras son independientes	Al no contar con un orden en las líneas telefónicas los empleados deben ubicar cual es el teléfono que tienen que contestar si es que no está timbrando un teléfono perteneciente a su anexo.
3) Necesidad de comunicarse con empleados que se encuentran fuera de las oficinas.	Ya que la empresa desarrolla proyectos, los ingenieros deben viajar constantemente a realizar trabajos fuera de la oficina, dejando la comunicación celular en algunos casos como la alternativa más práctica para realizar coordinaciones, sin embargo el costo de la telefonía celular es aún considerable, dependiendo incluso del lugar donde se encuentren.
4) Comunicación constante entre locales	Uso ineficiente de recursos económicos, debido a que se debe usar una línea telefónica (por lo menos) por cada local, con lo cual se debe pagar además de renta fija los minutos utilizados durante la comunicación.
5) Personal debe dejar de lado sus labores para contestar las llamadas telefónicas.	El personal del área de administración son los encargados de contestar las llamadas telefónicas lo cual provoca que dejen de lado sus labores para poder contestar las llamadas trayendo como consecuencia menor productividad en la empresa.

### 1.8. Declaración del marco problemático

Los procesos de comunicación más utilizados por los empleados de los diferentes locales de una empresa, es la telefonía básica por ser la forma más cómoda rápida e interactiva.

Al tener una regular afluencia de llamadas entre locales, que se encuentran en redes totalmente aisladas, el costo que se abona mensualmente por la comunicación entre empleados es un costo redundante ya que contando con una red de datos se puede aprovechar para transmitir voz y anular dicho costo del presupuesto mensual. Si se tiene en cuenta el horario de operación de la empresa, de 9 a.m. a 6 p.m., podemos observar que no existe tarifa preferencial para estas llamadas al encontrarse dentro de los horarios donde se genera mayor cantidad de tráfico.

Además de esto, se suma la baja eficiencia que cumple la central PBX adquirida ya que solo permite la comunicación sin costo entre los empleados del local principal, mas no con los otros locales.



## CAPITULO 2

### INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN BASADOS EN TECNOLOGIA DE VOZ SOBRE IP

#### 2.1. Estado del Arte

##### 2.1.1. Presentación del asunto de estudio

Uno de los principales medios de comunicación electrónicos con que contamos en la actualidad es sin duda la telefonía. Desde finales de los años 1800, cuando se inventó el teléfono, hasta la actualidad, se han venido desarrollando mejoras en la tecnología y en la reglamentación de los servicios de telefonía.

Así también, con la expansión de internet en casi la mayor parte del mundo, los usuarios finales exigen cada vez soluciones más integradas de comunicación, tanto de voz, vídeo y datos.

La tecnología basada en voz sobre IP (VoIP) fue desarrollándose desde mediados de los años 90's con la finalidad de aminorar los altos costos que implicaban la comunicación sobre todo de larga distancia. En la actualidad, viene creciendo con fuerza la telefonía IP en países como España y Estados Unidos, y se espera que en un futuro cercano se pueda difundir por el resto del mundo.

Lo que se busca en la presente investigación es mostrar las tecnologías existentes en la implementación de redes de voz sobre IP, para así poder realizar una elección adecuada de equipos y protocolos de comunicación de acuerdo a la necesidad que se tiene en este caso, que es la implementación de la red para comunicar el local principal de una empresa con los locales remotos.

## 2.1.2. Estado de la investigación

### Conmutación de circuitos y Conmutación de Paquetes

#### Conmutación de circuitos

La conmutación de circuitos es un tipo de comunicación que establece o crea un canal dedicado (o circuito) durante la duración de una sesión. Después de que es terminada la sesión se libera el canal y éste podrá ser usado por otro par de usuarios.

El ejemplo más típico de este tipo de redes es el sistema telefónico la cual enlaza segmentos de cable para crear un circuito o trayectoria única durante la duración de una llamada o sesión. Los sistemas de conmutación de circuitos son ideales para comunicaciones que requieren que los datos/información sean transmitidos en tiempo real.

#### Conmutación de paquetes

En los sistemas basados en conmutación de paquetes, la información/datos a ser transmitida previamente es ensamblada en paquetes. Cada paquete es entonces transmitido individualmente y éste puede seguir diferentes rutas hacia su destino. Una vez que los paquetes llegan a su destino, los paquetes son otra vez re-ensamblados.

Mientras que la conmutación de circuitos asigna un canal único para cada sesión, en los sistemas de conmutación de paquetes el canal es compartido por muchos usuarios simultáneamente. La mayoría de los protocolos de WAN tales como TCP/IP, X.25, Frame Relay, ATM, son basados en conmutación de paquetes.

<b>Características</b>	<b>Conmutación de circuitos</b>	<b>Conmutación de paquetes</b>
<i>Tiempo de establecimiento</i>	Aceptable para voz Largo para datos	No existe fase de establecimiento
<i>Retardo de transmisión</i>	Despreciable	Existe en toda comunicación (ms)
<i>Asignación de circuitos</i>	Único y exclusivo para cada comunicación	Compartido por otras comunicaciones

		simultáneas
<i>Identificación del destino</i>	Solo en la fase de establecimiento	Se incluye un identificador en cada paquete
<i>Necesidad de almacenar en la red</i>	No	Si, en los nodos de la red
<i>Flexibilidad en la red</i>	Encaminamiento alternativo	Gran flexibilidad

Fuente: Copyright @ Dra. Cláudia Barenco Abbas

Cuadro 2.1. Conmutación de Paquetes vs. Conmutación de Circuitos

Como podemos observar del cuadro 2.1, sería más eficiente si en una transmisión de señales de voz utilizáramos la técnica de conmutación de paquetes propia de las redes de datos, sólo debemos tener ciertas consideraciones para una señal de voz, pues lo que se requiere es que sea transmitida en tiempo real y sin pérdida de información.

### **Integración de redes de voz y datos**

Realmente la integración de la voz y los datos en una misma red es una idea antigua, pues desde hace tiempo han surgido soluciones desde distintos fabricantes que, mediante el uso de multiplexores, permiten utilizar las redes WAN de datos de las empresas (típicamente conexiones punto a punto y frame-relay) para la transmisión del tráfico de voz. La falta de estándares, así como el largo plazo de amortización de este tipo de soluciones no ha permitido una amplia implantación de las mismas.

Es innegable la implantación definitiva del protocolo IP desde los ámbitos empresariales a los domésticos y la aparición de un estándar, el VoIP, no podía hacerse esperar. La aparición del VoIP junto con el abaratamiento de los DSP's (Procesador Digital de Señal), los cuales son claves en la compresión y descompresión de la voz, son los elementos que han hecho posible el despegue de estas tecnologías. Para este auge existen otros factores, tales como la aparición de nuevas aplicaciones o la apuesta definitiva por VoIP de fabricantes como Cisco Systems o Nortel-Bay Networks. Por otro lado los

operadores de telefonía están ofreciendo o piensan ofrecer en un futuro cercano, servicios IP de calidad a las empresas.

La convergencia de voz, Internet y datos en una red unificada genera economías de escala con los beneficios de una infraestructura segura, confiable y flexible. “Nos interesa muchísimo la convergencia de nuestra red”, afirmó Gustaaf Schrijs, vicepresidente de tecnología y servicios de IHG [2]

### 2.1.3. Síntesis sobre el asunto de estudio

#### Ventajas

La ventaja más sobresaliente de utilizar una red de voz sobre IP para telefonía en comparación con la telefonía convencional (PSTN) es sin duda la reducción en los costos que implican las llamadas, sobre todo entre usuarios que utilizan la misma tecnología.

“Una ventaja de VoIP que las empresas y proveedores de servicios a menudo pasan por alto es el hecho de que las herramientas de infraestructura habituales ya no se necesitarán por mucho tiempo. Entre ellas se encuentran herramientas como los puertos físicos para servicios como el correo de voz. En una red de voz de circuito conmutado, el correo de voz se vende sobre la base del número de buzones de correo y el número de puertos físicos que se necesitan para soportar usuarios simultáneos. Con VoIP, ya no son necesarios los puertos físicos de circuitos conmutados. El servidor de correo de voz sólo necesita tener una conexión IP (Ethernet, Modo de transferencia asíncrona [ATM], etc.)” [11]

W. Llew Flynn señala que otra de las ventajas de la telefonía IP es la creación de los Centros de Contacto IP: “Más allá de habilitar las comunicaciones de voz sobre redes IP, el siguiente requerimiento consiste en proporcionar una funcionalidad muy sofisticada para el control de las llamadas. Las soluciones de Centros de Contacto IP incluyen una funcionalidad especializada para el procesamiento de las llamadas que permite efectuarlas, manejar conversaciones entre números telefónicos y direcciones de redes de datos IP,

habilitar la aplicación de complejas reglas de negocios para el enrutamiento de las llamadas, dar seguimiento y administrar el progreso de las mismas.” [25]

## Desventajas

### Calidad de la comunicación

Cuando establecemos una comunicación vía la PSTN la calidad del servicio queda asegurada ya que la conexión es exclusiva entre los dos terminales que se están comunicando. Cuando utilizamos VoIP basado en conmutación de paquetes, corremos el riesgo de generar retardos o en el peor de los casos pérdidas de paquetes los cuáles llegan a ser irremplazables pues en una transmisión en tiempo real (como es la voz) no se puede solicitar el reenvío de un paquete dañado o perdido.

Otro factor asociado a la calidad de la comunicación es la calidad de la voz luego de ser comprimida y codificada. Debemos asegurar que la calidad de voz sea lo suficiente buena como para que se establezca una comunicación, lo cual se logra siguiendo algunos estándares y recomendaciones.

### Funcionamiento del sistema.

A diferencia de la PSTN que posee su propia energía y siguen ofreciendo su servicio a pesar de los cortes de energía eléctrica que pudieran ocasionarse; la telefonía IP, sin energía eléctrica simplemente deja de operar. Para los casos críticos donde no se puede cortar el servicio bajo ninguna circunstancia, una opción es contar con una fuente de alimentación auxiliar UPS (fuente de alimentación ininterrumpida) que nos solucionará el inconveniente ante un corte de energía. Sin embargo, esta solución no elimina los problemas ante un fallo de la banda ancha, o una caída de la red que se use para conectarse a Internet.

### Seguridad

Es un tema de mucha importancia para las comunicaciones. Al transportarse datos de distintos terminales por la misma red, pueden ocurrir problemas con el copiado o manipulación de los datos por otros usuarios de la red, sobre todo si la información va a ser enviada a través de la red de Internet.

## 2.2. Redes de Datos

### 2.2.1. Modelo OSI

El **modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos** (OSI, Open System Interconnection) lanzado en 1984 fue el modelo de red descriptivo creado por ISO. Proporcionó a los fabricantes un conjunto de estándares que aseguraron una mayor compatibilidad e interoperabilidad entre los distintos tipos de tecnología de red producidos por las empresas a nivel mundial.

Siguiendo el esquema de este modelo se crearon numerosos protocolos, como por ejemplo X.25, que durante muchos años ocuparon el centro de la escena de las comunicaciones informáticas. El advenimiento de protocolos más flexibles donde las capas no están tan demarcadas y la correspondencia con los niveles no era tan clara puso a este esquema en un segundo plano. Sin embargo sigue siendo muy usado en la enseñanza como una manera de mostrar como puede estructurarse una "pila" de protocolos comunicaciones (sin importar su poca correspondencia con la realidad).

El modelo en sí mismo no puede ser considerado una arquitectura, ya que no especifica el protocolo que debe ser usado en cada capa, sino que suele hablarse de modelo de referencia. Este modelo está dividido en siete capas.

[12]

A continuación se presenta una breve descripción de cada capa<sup>2</sup>:

1. Nivel Físico.  
Especificaciones eléctricas y funcionales del medio de transmisión
2. Nivel de enlace de datos.  
Acceso al medio, entramado, control de errores y flujo
3. Nivel de red.  
Encaminamiento de paquetes dentro de la red.
4. Nivel de transporte.  
Transferencia confiable de extremo a extremo, independiente de la tecnología de la red.
5. Nivel de sesión.  
Organiza, sincroniza y gestiona el diálogo o intercambio de entre dos entidades de presentación

---

<sup>2</sup> Extraído de los apuntes de clase del Ing. Juan Ángel Huapaya, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú

6. Nivel de presentación.

Sintaxis de los mensajes intercambiados entre dos o más usuarios. Comprende encriptación de mensajes, compresión de dato y sintaxis de transferencia.

7. Nivel de aplicación.

Semántica, da sentido o significado a los datos de usuarios.

### 2.2.2. Redes IP

- Red Internet.

Hasta hace muy poco, el estado actual de la red, no permitía un uso profesional para el tráfico de voz. Hoy con nuevos equipos de alta tecnología, gran parte de la red puede ser usada para VoIP.

- Red IP pública.

Los operadores ofrecen a las empresas la conectividad necesaria para interconectar sus redes de área local en lo que al tráfico IP se refiere. Se puede considerar como algo similar a Internet, pero con una mayor calidad de servicio y con importantes mejoras en seguridad. Hay operadores que incluso ofrecen garantías de bajo retardo y/o ancho de banda, lo que las hace muy interesante para el tráfico de voz.

- Intranet

La red IP implementada por la propia empresa. Suele constar de varias redes LAN (Ethernet conmutada, ATM, etc.) que se interconectan mediante redes WAN tipo Frame-Relay/ATM, líneas punto a punto, RDSI para el acceso remoto, etc. En este caso la empresa tiene bajo su control prácticamente todos los parámetros de la red, por lo que resulta ideal para su uso en el transporte de la voz.

### 2.3. Definición de Voz sobre IP

Voz sobre IP es una tecnología basada en la conmutación de paquetes. El proceso se inicia cuando la señal de voz analógica se digitaliza utilizando un proceso de codificación para luego ser comprimidas en paquetes de datos los cuales son transmitidos a través de las Redes de Datos, utilizando el Protocolo de Internet (IP). Estos paquetes son re-ensamblados en el receptor para recuperar la señal de voz original.

### **2.3.1. Protocolos de señalización utilizados en VoIP**

#### **2.3.1.1. Protocolo H.323**

Fue el primer estándar internacional de comunicaciones multimedia, que facilitaba la convergencia de voz, video y datos. Fue inicialmente construido para las redes basadas en conmutación de paquetes, en las cuales encontró su fortaleza al integrarse con las redes IP, siendo un protocolo muy utilizado en VoIP. [35]

#### **2.3.1.2. Protocolo de Inicio de Sesión (SIP)**

Es un protocolo desarrollado por el IETF MMUSIC Working Group con la intención de ser el estándar para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como el video, voz. En Noviembre del año 2000, SIP fue aceptado como el protocolo de señalización de 3GPP y elemento permanente de la arquitectura IMS (IP Multimedia Subsystem). SIP es uno de los protocolos de señalización para voz sobre IP. [12]

#### **2.3.1.3. Protocolo IAX**

IAX (Inter-Asterisk eXchange protocol) es uno de los protocolos utilizado por Asterisk, un servidor PBX (centralita telefónica) de código abierto patrocinado por Digium. Es utilizado para manejar conexiones VoIP entre servidores Asterisk, y entre servidores y clientes que también utilizan protocolo IAX. El protocolo IAX ahora se refiere generalmente al IAX2, la segunda versión del protocolo IAX. El protocolo original ha quedado obsoleto en favor de IAX2. [12]

### **2.3.2. Protocolos de aplicación y transporte utilizados en VoIP**

La capa de transporte proporciona servicios de transporte de un host origen a un host de destino. Constituye una conexión lógica entre los extremos de la red. Los protocolos de transporte son los que segmentan y reensamblan los datos que las aplicaciones de la capa superior envían, en el mismo flujo de datos entre extremos.

### **2.3.2.1. Protocolos UDP y TCP**

El protocolo TCP es un protocolo de la capa de transporte que asegura una transmisión fiable de datos dúplex completo. TCP es un protocolo orientado a la conexión (crea un circuito virtual entre el host emisor y receptor), proporciona control de flujo de datos y corrección de errores.

El protocolo UDP es un protocolo de la capa de transporte no confiable, no tiene un método de control de errores. Es un sencillo protocolo que intercambia datagramas sin confirmación ni entrega garantizada. Los protocolos de aplicación utilizados para el transporte de datos en VoIP (RTP, RTCP) utilizan el protocolo UDP en la capa de transporte.

### **2.3.2.2. Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP)**

El RTP es el protocolo estándar para transmitir tráfico sensible al retraso por las redes basadas en paquetes. RTP recorre la parte superior del UDP e IP. Se puede utilizar RTP para servicios interactivos como la telefonía por Internet. RTP consta de una parte de datos y una parte de control, esta última llamada Protocolo de control RTP (RTP).

La parte de datos de RTP es un protocolo limitado que proporciona soporte para aplicaciones con propiedades de tiempo real, como medios continuos (audio y video), incluido la reconstrucción de temporización, la detección de pérdidas y la identificación de contenidos. [11]

### **2.3.2.3. Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real (RTCP)**

RTCP proporciona soporte para conferencias en tiempo real de grupos de cualquier tamaño dentro de Internet. Este soporte incluye la identificación de la fuente y el soporte para gateways, como puentes de audio y video, así como traductores de multidifusión a unidifusión. [11]

### **2.3.2.4. Protocolo de Transporte en Tiempo Real Comprimido (cRTP)**

La utilización de RTP es importante para el tráfico en tiempo real, pero existen algunos inconvenientes. Las cabeceras IP/RTP/UDP tienen 20, 8 y 12 bytes respectivamente. Esto agrega una cabecera de 40 bytes, la cual según el codec de voz que se usa puede ser mucho mayor que la carga útil.

Se puede comprimir esta gran cabecera a 2 o 4 bytes utilizando la Compresión de Cabecera RTP (cRTP). CRTP es usado para reducir el ancho de banda consumido por una llamada de voz, es recomendable para conexiones lentas (dial up a 56kbps) sin embargo si se tiene conexiones de banda ancha no es recomendable su uso, ya que al realizar la compresión se utiliza mayor procesamiento del CPU del router lo cual puede causar que la red se vuelva lenta. [11]

### **2.3.3. Factores que intervienen para lograr buena Calidad de Servicio (QoS)**

El auge de la telefonía IP es algo evidente y la principal razón es el reaprovechamiento de los recursos y la disminución en el coste de llamadas a través de Internet.

Sin embargo, si de algo adolece todavía la VoIP es de la calidad de los sistemas telefónicos tradicionales. Los problemas de esta calidad son muchas veces inherentes a la utilización de la red (Internet y su velocidad y ancho de banda) y podrán irse solventando en el futuro. Mientras tanto, cuanto mejor conozcamos los problemas que se producen y sus posibles soluciones mayor calidad disfrutaremos.

Los principales problemas en cuanto a la calidad del servicio (QoS) de una red de VoIP, son la Latencia, el Jitter la pérdida de paquetes y el Eco. En VoIP estos problemas pueden ser resueltos mediante diversas técnicas que se explicarán a continuación.

Los problemas de la calidad del servicio en VoIP vienen derivados de dos factores principalmente:

- a) Internet es un sistema basado en conmutación de paquetes y por tanto la información no viaja siempre por el mismo camino. Esto produce efectos como la pérdida de paquetes o el jitter.
- b) Las comunicaciones VoIP son en tiempo real lo que produce que efectos como el eco, la pérdida de paquetes y el retardo o latencia sean muy molestos y perjudiciales y deban ser evitados.

### 2.3.3.1. Jitter

El jitter es un efecto de las redes de datos no orientadas a conexión y basadas en conmutación de paquetes. Como la información se discretiza en paquetes cada uno de los paquetes puede seguir una ruta distinta para llegar al destino.

El jitter se define técnicamente como la variación en el tiempo en la llegada de los paquetes, causada por congestión de red, pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino. Las comunicaciones en tiempo real (como VoIP) son especialmente sensibles a este efecto. En general, es un problema frecuente en enlaces lentos o congestionados. [35]

El valor recomendado para el jitter es menor o igual a 100 ms para tener una comunicación sin molestias. Si el jitter es mayor debe ser minimizado utilizando algunas técnicas. Entre las soluciones más destacadas se encuentra la utilización de un "jitter buffer" cuya función es almacenar los paquetes que llegan en distintos intervalos y luego de un tiempo determinado empezar a ensamblar los paquetes. Esto implica un retardo que puede ser configurado de acuerdo a la necesidad, a mayor capacidad del buffer se logra menos pérdidas de paquetes pero mayor retardo.

### 2.3.3.2. Latencia

A la latencia también se la llama retardo. No es un problema específico de las redes no orientadas a conexión y por tanto de la VoIP. Es un problema general de las redes de telecomunicaciones. La latencia se define técnicamente en VoIP como el tiempo que tarda un paquete en llegar desde la fuente al destino. [35]

El retardo de extremo a extremo debe ser inferior a 150 ms, esta recomendación se encuentra ligada a la capacidad auditiva de los humanos, que son capaces de detectar retardos de 200 a 250 ms.

El retardo es controlado actualmente utilizando equipos que puedan priorizar la transferencia de paquetes que son transmitidos en tiempo real, se puede controlar también con aumento de ancho de banda pero en conclusión siempre existirá, ya que está implícito en el tiempo de procesamiento de los equipos de comunicación.

### 2.3.3.3. Pérdida de Paquetes

Las comunicaciones en tiempo real están basadas en el protocolo UDP. Este protocolo no está orientado a conexión y si se produce una pérdida de paquetes no se reenvían. Además la pérdida de paquetes también se produce por descartes de paquetes que no llegan a tiempo al receptor.

Sin embargo la voz es bastante predictiva y si se pierden paquetes aislados se puede recomponer la voz de una manera bastante óptima. El problema es mayor cuando se producen pérdidas de paquetes en ráfagas. [35]

La tolerancia a la pérdida de paquetes varía de acuerdo al códec que se utilice. Sin embargo se recomienda en general que la pérdida sea menor de 1%. Podemos minimizar la pérdida de paquetes tratando de transmitir la menor cantidad posible de información, es decir sólo la que es indispensable. Actualmente es muy utilizada la técnica de Voice Activity Detection, que consiste en no transmitir los silencios, con lo cual se aminora el ancho de banda ha utilizar y por consecuencia se reduce la cantidad de pérdidas de paquetes. El jitter-buffer explicado anteriormente también ayuda a reducir la pérdida de paquetes.

### 2.3.3.4. Eco

El eco se produce por un fenómeno técnico que es la conversión de 2 a 4 hilos de los sistemas telefónicos o por un retorno de la señal que se escucha por los altavoces y regresa por el micrófono. El eco también se suele conocer como reverberación.

El eco se define como una reflexión retardada de la señal acústica original.

El eco es especialmente molesto cuanto mayor es el retardo y cuanto mayor es su intensidad, con lo cual se convierte en un problema en VoIP puesto que los retardos suelen ser mayores que en la red de telefonía tradicional. [35]

En este caso se recomienda que el eco sea menor a 65 ms pero lo más importante es la atenuación de 25 a 30 dB para que no sea molesto para el oído humano. Para ayudar a reducir y/o eliminar este factor, se utilizan los *supresores de eco* y los *canceladores de eco*. El primero convierte la comunicación en half duplex momentáneamente para evitar que la información transmitida sea retornada por su propio canal; mientras que el segundo utiliza una técnica de predicción utilizando parte de la información transmitida la cual compara con el canal de llegada, si se escucha lo mismo que se transmitió

simplemente la señal se filtra, necesariamente ésta técnica necesita de un mayor procesamiento.

#### **2.4. Desarrollo del Modelo Teórico para el diseño de una red IP para transmisión de voz**

Para diseñar una red de Voz sobre IP debemos conocer cual es la situación actual de la red que se usa para el tráfico de voz en el lugar donde deseamos implementar nuestro diseño. Así también, se debe tener en cuenta los costos que implican la instalación, operación, mantenimiento y gestión de la red, que en el caso de una PYME estamos frente al reto de que todos estos gastos sean menores al que es ofrecido por un servicio telefónico convencional.

En primer lugar, debemos tener en cuenta el tipo de red IP que se utilizará en el diseño, tratando de obtener una buena relación costo/beneficio, en cuanto al costo de operación de la red y la calidad del servicio ofrecido.

Cuando tenemos definido el tipo de red IP a utilizar, el siguiente paso importante es escoger el protocolo de señalización adecuado, actualmente existen tres principales protocolos de señalización para satisfacer las necesidades de VoIP, debemos tener en cuenta que uno no es mejor que otro, sino, como en la mayoría de los casos depende de las necesidades que se requieran y la prioridad que se desee para cada una de estas.

Por último tenemos la elección de equipos de acuerdo al protocolo elegido, aquí también tenemos que basarnos en las aplicaciones que necesitamos, ya que existen diferentes tecnologías en cuanto a equipos terminales, gateways, gatekeepers, etc.

No debemos dejar de lado la posibilidad de expansión, tanto dentro de la misma empresa como la apertura de nuevas sucursales dentro de la localidad o en el interior del país e inclusive en el exterior.

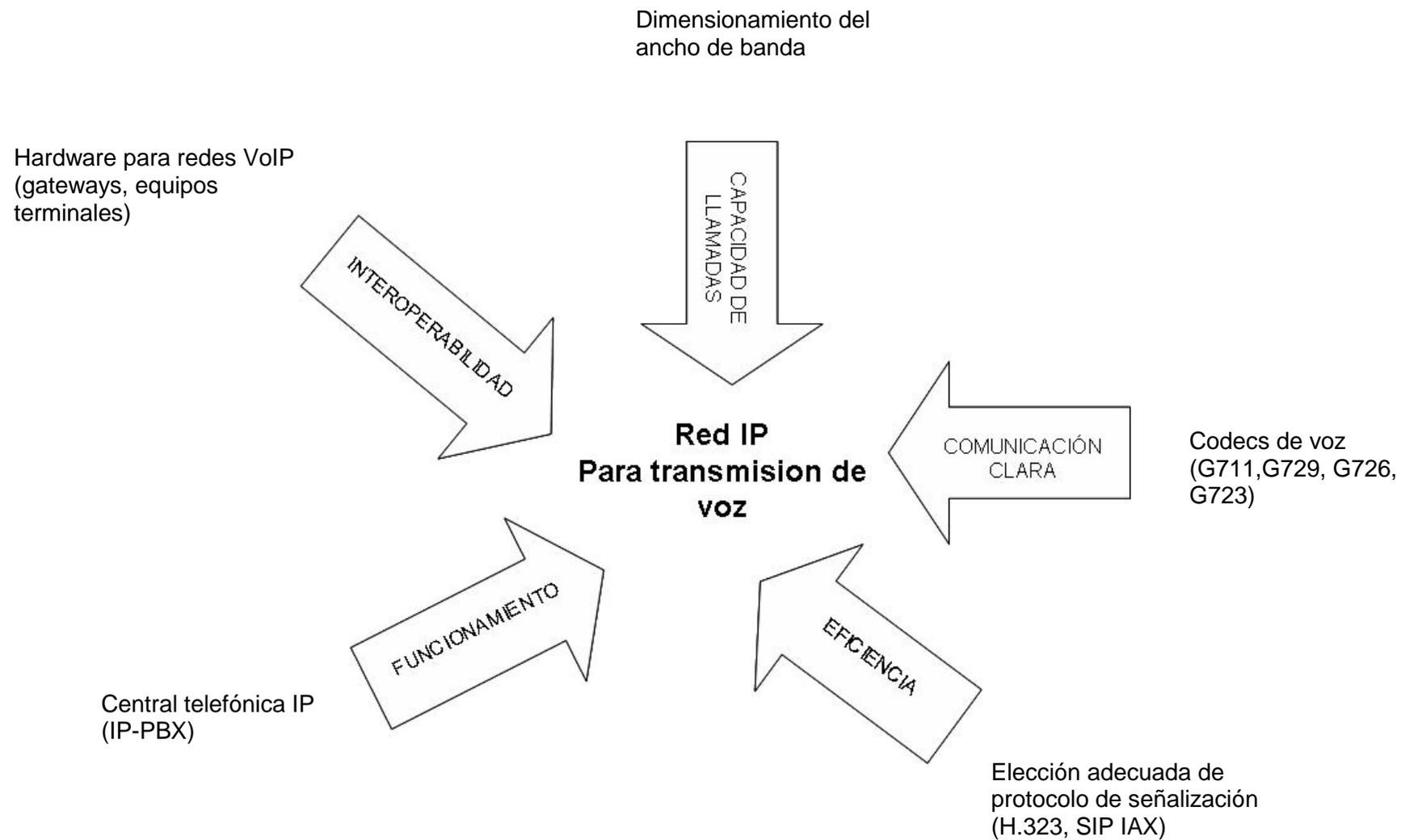


Figura 2.1. Representación gráfica del Modelo Teórico

## 2.5. Principales indicadores a tener en cuenta en el diseño de una red VoIP

### a) **Indicadores Cualitativos**

Son parámetros relacionados con la calidad de la comunicación de voz.

- Calidad de la Voz

Es el principal indicador de todo el sistema. Si podemos sostener una comunicación con una adecuada calidad de voz entonces es una prueba de que la red se ha diseñado de manera correcta.

“Hay dos formas de probar la calidad de la voz: subjetiva y objetivamente. Los humanos realizan pruebas de calidad de voz subjetivas, mientras que las computadoras realizan pruebas de voz objetivas”. [11]

### b) **Indicadores Cuantitativos**

Nos indican en cantidades específicas los resultados alcanzados en la comunicación de voz.

- Ancho de Banda

Un tema muy importante a la hora de empezar con el diseño de una red VoIP es el ancho de banda. Dependiendo del códec que se use y el número de muestras de voz que se quiera por paquete, la cantidad de ancho de banda por llamada puede incrementarse drásticamente.

- Retraso/Latencia

Existen tres tipos de retraso que son inherentes a las redes de telefonía actuales: retraso de propagación, retraso de serialización y retraso de manejo.

La recomendación G.114 de la ITU-T sugiere que no haya más de de 150milisegundos (ms) de retraso de extremo a extremo para mantener una “buena” calidad de voz. Aunque debemos tener en cuenta que la definición de “buena” es relativa de acuerdo al cliente, por eso se debe recordar que 150 ms es simplemente una recomendación.

- Fluctuación de fase

Como pudimos ver en apartados anteriores, la fluctuación de fase (jitter) es la variación del tiempo de llegada de un paquete.

El jitter entre el punto inicial y final de la comunicación debiera ser inferior a 100 ms. Si el valor es menor a 100 ms el jitter puede ser compensado de manera apropiada. En caso contrario debiera ser minimizado



### **CAPITULO 3**

#### **ANALISIS DE REQUERIMIENTOS Y PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED**

El presente capítulo se encuentra orientado al desarrollo de los elementos necesarios para realizar el diseño de la red de Voz sobre IP para una empresa privada de telecomunicaciones.

Para ello partimos de la hipótesis principal para plantear el problema ubicado en la empresa debido al uso de redes distintas para voz y datos, siguiendo con la definición de los objetivos trazados para solucionar el problema, y finalmente, el desarrollo de las tecnologías involucradas en el diseño que puedan cumplir con los objetivos planteados.

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis Principal**

La *Hipótesis Principal* de la presente investigación se enuncia a continuación:  
“Dado que se requiere mantener una comunicación constante entre los empleados de los diferentes locales de una empresa de telecomunicaciones, entonces, implementar una red de Voz sobre IP traerá beneficios a la empresa tanto en el aspecto económico como en la optimización de las comunicaciones en la empresa”

##### **3.1.2. Hipótesis Secundarias**

- La convergencia de la red de voz y datos, nos permitirá obtener una sola red ordenada, facilitando las labores de administración y mantenimiento que en adelante será para una sola red.
- Al lograr que la comunicación entre locales ya no utilice la Red Telefónica Pública, se puede llegar a obtener una reducción del número de líneas telefónicas rentadas necesarias.

### 3.2. Objetivos

#### 3.2.1. Objetivo Principal

Partiendo de la hipótesis enunciada en el punto anterior, el *Objetivo Principal* para la presente investigación es:

“Diseñar una red de Voz sobre IP que pueda soportar tráfico de voz entre los locales de una empresa a costo cero, ofreciendo una buena calidad de servicio y que tenga interoperabilidad con la Red Telefónica Pública”

#### 3.2.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar una red de área local (LAN) que posea calidad de servicio para que puedan transmitir datos y voz juntos por dicha red.
- Dimensionar el ancho de banda necesario en la red de área amplia (WAN) en cada local, para poder atender flujo de llamadas en la hora de mayor tráfico.
- Configurar un servidor de Voz sobre IP que pueda ser capaz de establecer llamadas entre terminales que se encuentran en diferentes redes.
- Identificar los elementos necesarios para que se pueda realizar la interoperabilidad entre las redes de voz y datos, mostrando todos los posibles escenarios de operación entre dichas redes.

Al tener definidos los objetivos, nos enfocamos en el estudio de los elementos involucrados en el diseño de la red, tal que se lleguen a cumplir los objetivos propuestos. El diseño de la red comprende los siguientes pasos: dimensionamiento, elección de protocolos y elección y distribución de equipos. A continuación se presentarán las principales alternativas existentes en cada uno de estos procedimientos.

### 3.3. Dimensionamiento de la Red

El dimensionamiento de la Red se refiere a la cantidad de ancho de banda necesario para ofrecer el servicio de voz por la Red de Datos. Este valor se calcula teniendo en cuenta primero la cantidad de líneas telefónicas necesarias para un determinado número de abonados. Para ello debemos plantear algún modelo de tráfico y analizar los volúmenes de tráfico consumidos en la empresa usualmente. Una vez hallada la cantidad de líneas telefónicas necesarias, elegimos un codec de voz para el cálculo del ancho de banda total.

#### 3.3.1. Modelos de tráfico

Para hallar el número de líneas telefónicas necesarias para lograr atender el tráfico en la hora de mayor ocupación, se realizan algunos cálculos basados en un modelo de tráfico elegido previamente, según algunos parámetros de la central que atenderá dicho tráfico, como son: el número de órganos capaces de cursar tráfico, número de órganos capaces de generar tráfico, y algunas acciones que se deben tomar cuando la central se encuentre ocupada, como puede ser derivarla a una central de espera (si se cuenta con una) o finalmente perder la llamada. Las características de los principales modelos de tráfico se enuncian a continuación.

##### Erlang B

En el modelo Erlang B las llamadas bloqueadas son reencaminadas y nunca retornan a la troncal original. El llamante realiza un solo intento de establecer la llamada. Si se bloquea la llamada se reencamina inmediatamente. Este modelo implica un número infinito de terminales y un número finito y mucho menor de órganos capaces de cursar tráfico. El modelo "Erlang B" es usado para calcular una de las siguientes tres variables cuando son conocidas dos de ellas: 1) el número de llamadas en hora pico, 2) el porcentaje de llamadas que no serán atendidas, y 3) el número de líneas

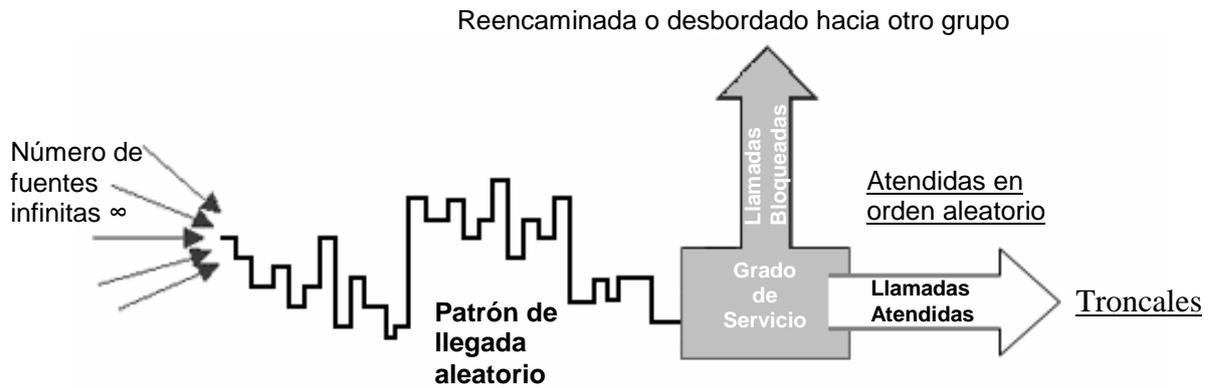


Figura 3.2. Modelo de Tráfico Erlang B

Fórmula de Probabilidad:

$$P = \frac{a^n/n!}{\sum_{x=0}^n \frac{a^x}{x!}}$$

P: Probabilidad de bloqueo  
 a: Volumen de tráfico en erlangs  
 n: Número de troncales  
 x: Número de canales ocupados

Erlang B extendido

El modelo de Erlang B extendido utiliza la misma fórmula y premisas con la única diferencia que un porcentaje de llamantes reintentará sus llamadas hasta que se logran establecer. El modelo “Erlang B extendido” es similar al “Erlang B” pero que añade una cuarta variable: El porcentaje de llamadas que reintentarán de forma inmediata si el sistema da la señal de ocupado.

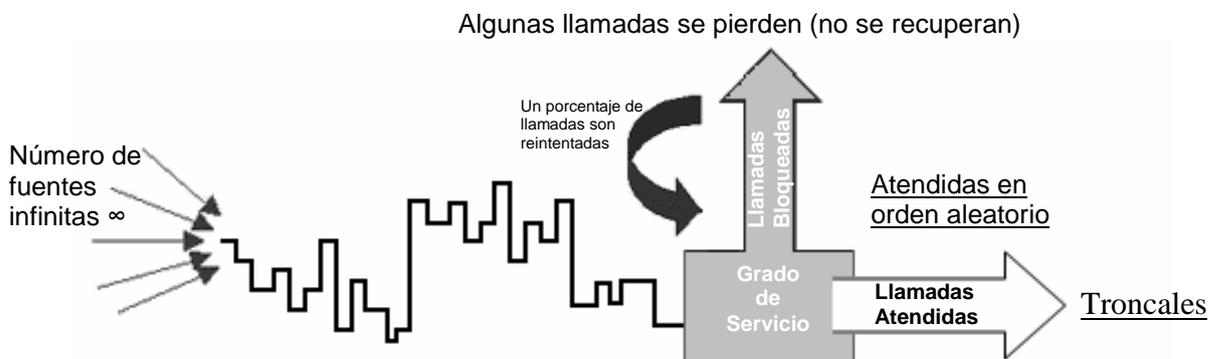


Figura 3.3. Modelo de Tráfico Erlang B Extendido

Fórmula de probabilidad:

$$P = \frac{a^n/n!}{\sum_{x=0}^n \frac{a^x}{x!}}$$

P: Probabilidad de bloqueo  
a: Volumen de tráfico en erlangs  
n: Número de troncales  
x: Número de canales ocupados

Erlang C

En el modelo de Erlang C el sistema se diseña alrededor de la teoría de colas. El llamante realiza una llamada y esta se pone en cola hasta que sea atendida. El modelo “Erlang C” asume que todas las llamadas serán atendidas y nos permite calcular el número de agentes necesario para atender las llamadas. Es el más usado para dimensionar el personal de un Call Center, sobre la base de conocer el número de llamadas en hora pico, la duración media de la llamada y el retraso medio en atenderlas.

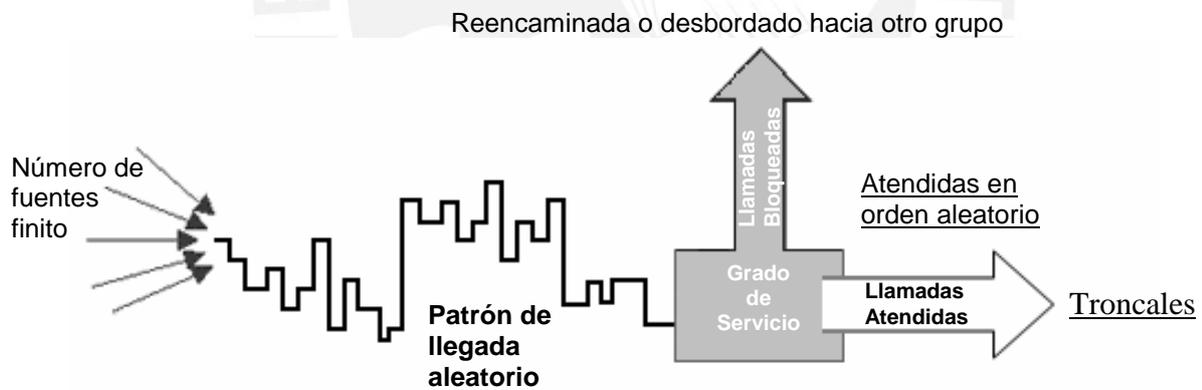


Figura 2.4. Modelo de Tráfico Erlang C

Fórmula de Probabilidad

$$P = \frac{\frac{(s-1)!}{n! (s-1-n)!} \left( \frac{a}{s-a(1-P)} \right)^n}{\sum_{x=0}^n \frac{(s-1)!}{x! (s-1-x)!} \left( \frac{a}{s-a(1-P)} \right)^x}$$

P: Probabilidad de bloqueo  
a: Volumen de tráfico en erlangs  
n: Número de troncales  
x: Número de canales ocupados  
s: Número de fuentes

Engset

El modelo Engset se utiliza para dimensionar comúnmente grupos de equipos “nonqueued” (servicio inmediato). Es similar a Erlang B porque las llamadas bloqueadas son despejadas pero asume un número limitado de fuentes. Si se bloquea la llamada, después se reencamina o se desborda a otro grupo. Este modelo es usado comúnmente en centrales con un volumen de tráfico reducido.

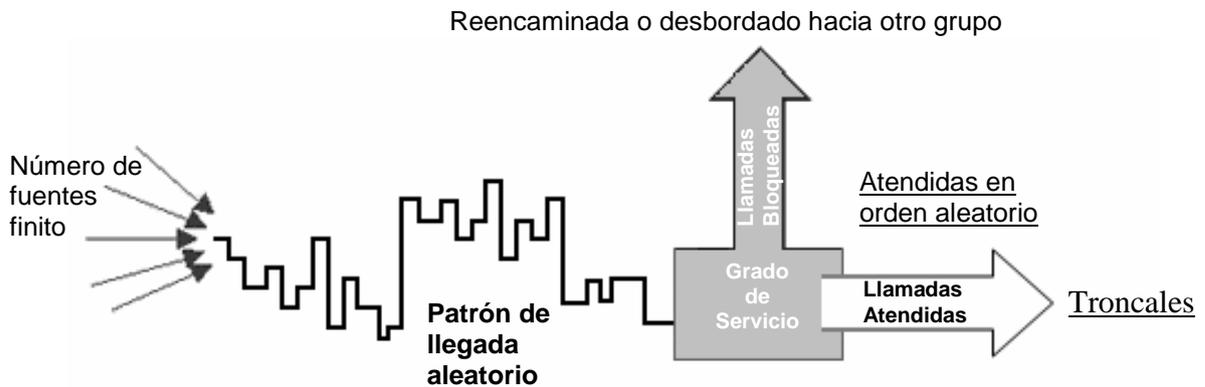


Figura 2.5. Modelo de Tráfico Engset

Fórmula de probabilidad

$$P = \frac{\frac{(s-1)!}{n! (s-1-n)!} \left( \frac{a}{s-a(1-P)} \right)^n}{\sum_{x=0}^n \frac{(s-1)!}{x! (s-1-x)!} \left( \frac{a}{s-a(1-P)} \right)^x}$$

P: Probabilidad de bloqueo  
 a: Volumen de tráfico en erlangs  
 n: Número de troncales  
 x: Número de canales ocupados  
 s: Número de fuentes

Una vez elegido el modelo de tráfico, debemos usar una calculadora de erlangs para ingresar la información recolectada de los valores de volumen de tráfico en la empresa, y el número de abonados que se les dará servicio para obtener el número de líneas telefónicas necesarias para satisfacer el tráfico en la hora de mayor ocupación.

### 3.3.2. Codecs de voz y cálculo de ancho de banda

El siguiente procedimiento para realizar el dimensionamiento de la red, es elegir el codec de voz a utilizar. Para efectos de la presente investigación se toma en cuenta cuatro de los codecs que son comercialmente más usados, lo cual nos garantizará poder encontrar los equipos (teléfonos IP, gateway, software del servidor, etc.) en el mercado. Los codecs que se utilizarán para la comparación serán los siguientes:

#### G.711

G.711 es un estándar de la ITU-T para la compresión de audio. Este estándar es usado principalmente en telefonía, y fue liberado para su uso en el año 1972.

G.711 es un estándar para representar señales de audio con frecuencias de la voz humana, mediante muestras comprimidas de una señal de audio digital con una frecuencia de muestreo de 8 kHz. El codificador G.711 proporcionará un flujo de datos de 64 kbit/s.

Para este estándar existen dos algoritmos principales, la ley- $\mu$  (usado en Norte América y Japón) y la ley-A (usado en Europa y el resto del mundo)

Ambos algoritmos son logarítmicos, pero la ley-A fue específicamente diseñada para ser implementada en una computadora.

El estándar también define un código para secuencia de repetición de valores, el cual define el nivel de potencia de 0 dB.

#### Características

- Frecuencia de muestreo de 8KHz
- Tasa de bit de 64kbps (8kHz frecuencia de muestreo por 8 bits por muestra)
- Retardo típico del algoritmo 0.125ms
- G.711 Apéndice I define un algoritmo PLC (Packet Loss Concealment) para ayudar a ocultar pérdidas de transmisión en una red de paquetes.
- G.711 Apéndice II define un algoritmo DTX (Discontinuous Transmission), el cual es usado con VAD (Voice Activity Detection) y CNG (Confort Noise Generation) para reducir el ancho de banda durante los periodos de silencio.

### G.729

G.729 es un algoritmo de compresión de datos de audio para voz que comprime audio de voz en tramas de 10 milisegundos.

G.729 se usa mayoritariamente en aplicaciones de Voz sobre IP por sus bajos requerimientos en ancho de banda. El estándar G.729 opera a una tasa de bits de 8 kbit/s, pero existen extensiones, las cuales suministran también tasas de 6.4 kbit/s y de 11.8 kbit/s para peor o mejor calidad en la conversación respectivamente.

#### Extensiones

- G.729A, menos complejidad, menor procesamiento, pero la calidad de conversación se empeora marginalmente.
- G.729B, utiliza compresión de silencio, mediante un módulo VAD detecta la actividad de voz y no transmite los silencios. Incluye un módulo DTX el cual decide actualizar los parámetros de ruido de fondo para la ausencia de conversación (entornos ruidosos). Estas tramas que son transmitidas para actualizar los parámetros del ruido de fondo se llaman tramas SID. También hay un generador de ruido de confort (CNG), dado que en un canal de comunicación, si se detiene la transmisión, a causa de ausencia de conversación, entonces el receptor puede suponer que el enlace se ha roto.
- G.729.1, suministra soporte para conversación de banda ancha y codificación de audio, el rango de frecuencia acústica se extiende a 50Hz – 70kHz. El codificador G.729.1 está organizado jerárquicamente: Su tasa de bits y la calidad obtenida es ajustable por un simple truncado de la corriente de bits.

### G.726

Es un codec de voz ADPCM (Adaptative Differential Pulse Code Modulation), estándar ITU-T, que cubre la transmisión de voz a tasas de 16, 24, 32 y 40 kbps. G.726 fue creado para reemplazar a G.721 que cubría ADPCM a 32 kbps y G.723 que cubrió ADPCM también a 24 y 40 kbps, G.726 introdujo una nueva tasa de 16 kbps.

El más usado comúnmente es a 32 kbps, debido a que utiliza la mitad de la tasa del codec G.711, aumentando la capacidad de ancho de banda de red en un 100%.

### Características

- Frecuencia de muestreo de 8 KHz
- Tasas de bits disponibles: 16, 24, 32 y 40 kbps.
- Genera una corriente de bits, por lo tanto el tamaño de trama es determinada por la paquetización (típicamente 80 muestras por una trama de 10 ms)
- Retardo típico del algoritmo 0.125ms
- Utiliza el algoritmo de codificación ADPCM

### G.723.1

G.723.1 es un codec que comprime el audio de voz en tramas de 30 ms. Existen dos tasas de bits a la cual puede operar: 6.3 kbps (con una trama de 24 bytes) usando el algoritmo de codificación MPC-MLQ, y, a 5.3 kbps (con tramas de 20 bytes) utilizando ACELP como algoritmo de codificación.

### Características

- Frecuencia de muestreo de 8Khz/16 bit (240 muestras por tramas de 30ms)
- Tasas de bits fijas (5.3 kbps con tramas de 20 bytes de 30ms, 6.3 kbps con tramas de 24 bytes de 30ms)
- Retardo del algoritmo 37.5 ms por trama
- G.723.1 Anexo A, define una trama SID (Silence Insertion Descriptor) de 4 bytes para CNG (Confort Noise Generation)

## **3.4. Protocolos de señalización**

Cada uno de los protocolos de señalización que existen actualmente para redes de Voz sobre IP, tienen una arquitectura específica. Esto quiere decir, que para cada protocolo existe una diferente estructura y necesidades de hardware, es por ello que no es posible realizar un diseño de red sin tener

antes definido el protocolo que se va a utilizar, salvo el caso que los protocolos tengan arquitecturas muy parecidas.

Existe una gran variedad de protocolos de señalización para VoIP entre propietarios y libres, entre ellos tenemos: H.323, SIP (Session Initiation Protocol), MGCP (Media Gateway Control Protocol), IAX.2 (Inter Asterisk Exchange), SAPv.2 (Session Announcement Protocol), SCCP (Skinny Client Control Protocol, propietario de Cisco), etc.

En el capítulo 2 se hizo énfasis en tres protocolos, los cuáles son los más destacados por diferentes razones, ser el primer protocolo para la transmisión multimedia como es el caso de H.323, la flexibilidad que ofrece SIP o el eficiente manejo de ancho de banda y soluciones a algunos otros problemas con la aparición del IAX2.

Para la presente investigación solo se tomará en cuenta estos tres protocolos para realizar la elección de uno de ellos, para tal fin, se realizará una comparación entre los tres a fin de elegir la solución más adecuada de acuerdo a la necesidad de la empresa.

### **H.323**

H.323 es una pila de protocolos estandarizados por la ITU-T. Fue el primer protocolo elaborado para la transmisión de contenido multimedia (voz, video, sonidos, etc.) por las redes de datos. Es el estándar más completo, en líneas generales tiene muchas características que pueden ser comparables con los protocolos utilizados para las transmisiones de voz por las redes telefónicas, esto debido a que su desarrollo se basó en algunos estándares ya existentes como H.320, RTP y Q.931

#### **Ventajas**

- Es el estándar más completo para transmisiones de voz y video, esto quiere decir que posee mejores funcionalidades que los demás.
- La calidad de servicio también es mayor ya que se ocupa de este tema en cada uno de sus protocolos que componen el estándar

### Desventajas

- Protocolo bastante complejo
- Los componentes son más costosos

### SIP

El protocolo SIP (Session Initiation Protocol) es un protocolo estandarizado por la IETF (RFC 3261, 2006); utilizado para establecer, mantener y terminar sesiones multimedia, aplicaciones que contengan audio, vídeo o datos. El protocolo SIP se compone de agentes de usuarios y servidores de red (clientes y servidores). SIP es un protocolo flexible que tiene posibilidades de extensión para funciones y servicios adicionales. La arquitectura de SIP es modular, solo cubre la señalización básica, la localización de usuarios y el registro. Otras características se implementan en protocolos separados. La base de su desarrollo fueron protocolos de aplicación de redes de datos como HTTP y SNMP.

### Ventajas

- El protocolo SIP es un protocolo que tiene mayor simplicidad, utiliza mensajes de peticiones y respuestas al estilo HTTP para establecer las sesiones. No se definen servicios o funciones
- Posee también flexibilidad y escalabilidad, diferentes funcionalidades como proxy, redirección. localización/registro pueden residir en un único servidor o varios distribuidos.
- No es necesario un control centralizado, el funcionamiento de extremo a extremo es posible una vez establecida la sesión.

### Desventajas

- Problemas para resolver direcciones privadas con públicas, no atraviesa firewalls ya que tiene problemas con el NAT, a menos que se implemente una solución haciendo uso de un servidor STUN<sup>3</sup> (para el cliente).

---

<sup>3</sup> Una explicación más detallada acerca del servidor STUN se encuentra en el Anexo 2 (RFC 3849)

## IAX

El protocolo IAX (Inter Asterisk eXchange) fue creado por Max Spencer para la señalización de VoIP en Asterisk. Actualmente IAX ha quedado en desuso y se ha reemplazado por la segunda versión IAX2, aunque comúnmente se siga mencionando al protocolo IAX cuando se hace referencia a IAX2.

IAX fue creado para resolver problemas que se encontraron utilizando el protocolo SIP, justamente la base de su desarrollo fueron los protocolos ya establecidos SIP y H.323.

### Ventajas

- Eficiencia en el uso del ancho de banda, IAX a diferencia de SIP utiliza códigos binarios en vez de utilizar mensajes de texto. También reduce la información de las cabeceras lo máximo posible.
- Resuelve el problema de traspaso de NAT, utilizando la transmisión de control y la información de voz por un solo puerto.
- IAX utiliza un solo puerto (4569) para enviar los datos conjuntamente con la información de señalización, SIP utiliza 1 puerto de señalización (5060) y dos puertos RTP para la transmisión de voz, esto define una clara ventaja para IAX cuando se tienen gran cantidad de llamadas simultáneas.

### Desventajas

- Aún se encuentra en proceso de estandarización, lo que trae como consecuencia que no exista aun una variedad de equipos en el mercado lo cual encarece los costos.
- Al enviar la información de señalización y los datos por un mismo puerto, obliga a que todos los paquetes que se transmitan durante la comunicación deban ser procesados por el servidor IAX, lo cual puede causar congestión en el servidor para una gran cantidad de llamadas.

### 3.5. Equipos

Los equipos que se van a utilizar para realizar el diseño de la red de voz sobre IP son: equipos terminales, un servidor (para registro o IP-PBX), un gateway de

voz para conmutar a la Red Telefónica Pública, y finalmente los equipos de networking (routers, switches, firewalls) necesarios para que se pueda transmitir voz y data sobre una misma red sin inconvenientes.

### 3.5.1. Servidor

#### Hardware

La función principal del servidor que se va a implementar es la señalización de llamadas. Para ello debe tener un CPU capaz de soportar el procesamiento de las llamadas y capacidad de conectarse a la red de datos. Dimensionar exactamente un hardware para un servidor es una tarea complicada, sin embargo se tienen en cuenta algunos criterios para la elección y se siguen recomendaciones dadas por expertos para luego poner a prueba el sistema y verificar su correcto funcionamiento.

El parámetro más importante para la elección del hardware del servidor es el número máximo de llamadas concurrentes que se puede dar en el sistema. Sin embargo existen otros criterios que se tienen en cuenta al momento de realizar la elección del hardware para el servidor de comunicaciones, algunos de ellos son:

- Porcentaje del procesador que requiere el codec para codificar/decodificar las señales de voz.
- Complejidad del Plan de marcación
- Otros procesos que se ejecuten en el sistema
- Distribución de Linux y el kernel con el que opera

Por lo tanto para implementar el servidor se deberá definir los siguientes componentes:

- Velocidad del procesador
- Cantidad de memoria RAM
- Capacidad del disco duro
- Tarjeta de interfaz de red

Como se mencionó anteriormente estos elementos se seleccionarán de acuerdo a recomendaciones de expertos y luego serán sometidos a pruebas para verificar que cumplen con los requerimientos del diseño.

### Software

En este punto tenemos dos opciones principales, trabajar con software propietario y pagar la licencia de los programas que se use o trabajar con software libre. Otra opción sería una solución híbrida entre software propietario y libre. El software necesario para implementar una Centralita IP sobre un servidor está compuesto por el sistema operativo y el software de comunicaciones.

### Sistema Operativo

“Un sistema operativo es un programa destinado a permitir la comunicación del usuario con un computador y gestionar sus recursos de una forma eficaz” [12].

La función principal para el caso de nuestro servidor, es levantar las interfaces y archivos de sistema necesarios para que pueda operar el software de comunicaciones y demás programas que se deseen instalar en el servidor (Web Server, FTP Server, etc.)

Los principales S.O. para servidores utilizados hasta el momento en que se desarrolló la presente tesis son:

- Windows Server 2003 (software propietario de Microsoft)
- UNIX/Linux (software libre con una gran variedad de distribuciones para elegir según las aplicaciones que se deseen implementar)

### Software IP/PBX

Este programa es el eje del sistema de comunicación a diseñar, es prácticamente el que se encarga de establecer la comunicación de extremo a extremo y ofrecer todas las funciones propias de una centralita telefónica tradicional y más. En ella se deberá configurar el plan de marcación y si se desea algunos otros servicios adicionales

En este caso también se puede usar software libre o propietario. Entre ellos el más destacado hasta el desarrollo de la investigación es el software Asterisk.

Asterisk es una centralita software (PBX) de código abierto. Como cualquier centralita PBX permite interconectar teléfonos y conectar dichos teléfonos a la Red Telefónica Pública. El paquete básico de Asterisk incluye muchas características que antes sólo estaban disponibles en caros sistemas propietarios como creación de extensiones, envío de mensajes de voz a e-mail, llamadas en conferencia, menús de voz interactivos y distribución automática de llamadas. Además se pueden crear nuevas funcionalidades mediante el propio lenguaje de Asterisk o módulos escritos en C o mediante scripts AGI escritos en Perl o en otros lenguajes.

Entre los software propietarios se tiene también diversas opciones siendo una de las que más destaca la Centralita telefónica 3CX para Windows, certificado por Microsoft. La versión gratuita cumple las mismas funciones básicas de una centralita tradicional y si se desea funciones avanzadas se deberá obtener la versión Enterprise y pagar la licencia de uso.

### 3.5.2. Terminales

Para la elección de equipos terminales tenemos tres posibilidades, elegir entre softphones y hardphones, o elegir un Adaptador de Teléfono Analógico (ATA)

#### Softphones

Los softphones son programas que emulan un Terminal telefónico, se necesita de una pc, y dispositivos de audio (micro y bocinas) para poder realizar o recibir una llamada.

#### Hardphones

Por el contrario los hardphones son teléfonos físicos (teléfonos IP) con un conector RJ-45 para ser conectados a la red de datos.

#### ATA

Un Adaptador Telefónico Analógico (ATA) es un dispositivo utilizado para convertir las señales analógicas que son enviadas por un teléfono analógico en

paquetes IP para ser transmitidos por la red de datos. Un ATA cuenta con dos puertos, uno RJ11 para conectar al teléfono analógico y otro RJ45 para conectar a la red de datos.

Un ATA en conjunto con un teléfono analógico tienen la misma funcionalidad que un teléfono IP.

### **Características de los equipos terminales**

- Están definidos para funcionar bajo uno o más protocolos de señalización (SIP, H.323 o algún otro protocolo propietario o estándar)
- Soportan algunos codecs de voz como G.711, G.729, G.723.1, G.726, GSM, iLBC, entre otros.
- Puede soportar algunos otros protocolos para gestión y operación como HTTP, TFTP, DHCP, 802.1 P/Q, etc.
- Puede tener diversas funcionalidades entre ellas, Llamadas en Espera, Transferencia de Llamadas, Conferencias Tripartitas, Identificación de Llamadas, entre otras.

### **3.5.3. Gateway de Voz**

El Gateway es el dispositivo que se encarga de realizar la conmutación hacia la Red Telefónica Pública. Cuando necesitamos realizar una llamada a un abonado externo de la Red Telefónica Pública, el servidor VoIP se encarga de señalar la llamada hasta el Gateway, el cual realizará la conmutación de la Red IP hacia la RTP y viceversa si fuera el caso.

Para la elección del Gateway, debemos escoger uno que tenga entradas analógicas (líneas FXO) ya que son las que utilizaremos para tener salida a la RTP, debemos tener en cuenta también la compatibilidad con el códec elegido para que se pueda realizar la decodificación de los paquetes de voz y convertirlos en señales analógicas. Existe también la posibilidad de reemplazar el gateway por tarjetas FXO para ser colocados en los slots PCI del servidor, la elección del equipo o las tarjetas es completamente indiferente en cuanto a funcionalidad, si es que ambos tienen las mismas características.

#### 3.5.4. Dispositivos para datos

Debido a que nuestra red de datos ahora debe soportar paquetes de voz, los equipos que se utilizan deben tener ciertas características. Los equipos utilizados para la red de datos son: router y switches.

##### Router

Un router es un dispositivo de internetworking que pasa paquetes de datos entre redes basándose en direcciones de capa 3 (direcciones IP). Un router puede tomar decisiones acerca de la mejor ruta para la distribución de datos por la red.

El propósito de un router es examinar los paquetes entrantes, elegir la mejor ruta para ellos a través de la red, y después conmutarlos al puerto de salida apropiado. [7]

Para el caso de una red de voz sobre IP, el router también debe ofrecer calidad de servicio (QoS) en las comunicaciones, es decir, dar prioridad a los paquetes de voz sobre los de datos, debido a que la voz es transmitida en tiempo real por lo que se le considera un tipo de información crítica.

##### Switches

Los switches son dispositivos de la capa de enlace de datos (capa 2) que permiten interconectar múltiples segmentos LAN físicos en redes sencillas más grandes. Los switches remiten e inundan el tráfico en base a las direcciones MAC. [7]

Para voz sobre IP además de la conmutación es recomendable que los switches sean capaces de soportar VLAN (802.1p/q) para agrupar los dispositivos de voz en una sola VLAN y tener un mayor nivel de seguridad en la intercepción de la información.

También se recomienda que soporte Power over Ethernet (PoE) que consiste en enviar la alimentación por el par que no es usado para la transmisión ni recepción del cable UTP, con esto alimentaremos los teléfonos IP sin

necesidad de tener una toma de corriente eléctrica en cada lugar donde se desee instalar un teléfono IP.

### 3.6. Propuesta de diseño

Ahora que ya tenemos definidos los componentes de nuestra red, solo queda realizar la distribución de los equipos dentro de los locales para tener el diagrama de diseño de la red de voz sobre IP.

A continuación se muestra la Figura 2.6 con la propuesta de diseño de la red

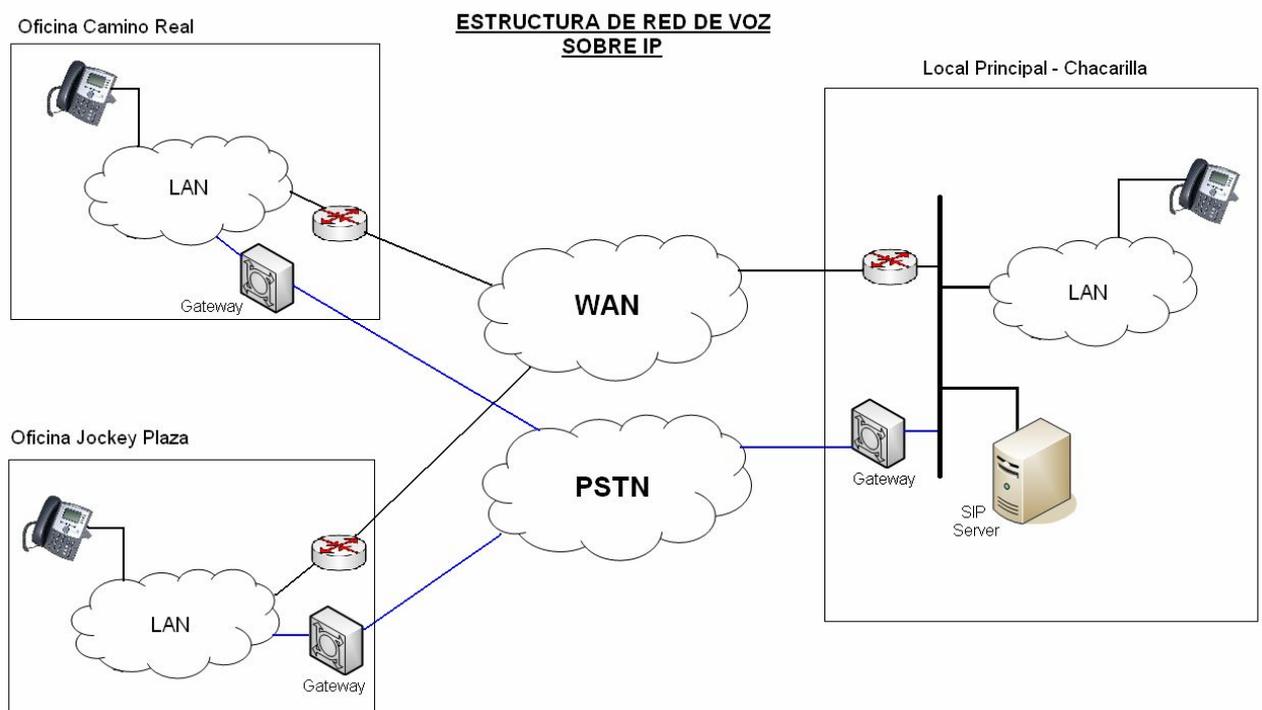


Figura 2.6. Estructura de la Red de Voz sobre IP

## CAPITULO 4

### DISEÑO DE LA RED, PRUEBAS Y RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es el desarrollo del diseño de la Red de Voz sobre IP, para ello debemos optar por la mejor opción entre todas las herramientas propuestas en el capítulo anterior. El diseño se encontrará concluido cuando tengamos elegidos todos los elementos necesarios, y además de tener una propuesta final, realizar las pruebas necesarias que garanticen el funcionamiento de la red (propuesta técnica validada). También, para el presente capítulo se desarrolla un análisis de costos y presupuesto del proyecto (propuesta económica).

#### **4.1. Cálculo del Ancho de Banda de la Red**

Para el cálculo del ancho de banda necesario para poder cursar el flujo de llamadas de la empresa, primero debemos calcular el número de líneas telefónicas necesarias para la empresa, y luego, teniendo el número de canales de voz, obtenemos el ancho de banda total con la ayuda del ancho de banda utilizado por el codec de voz.

##### **4.1.1. Cálculo del número de líneas telefónicas**

Este cálculo se realiza con el fin de obtener el número de circuitos telefónicos necesarios para atender a los 12 abonados en la hora de mayor tráfico. Para realizar este cálculo necesitamos información del flujo de llamadas en la empresa, sin embargo al no contar con información acerca del flujo de llamadas, y la realización de un monitoreo de llamadas no es posible debido a la poca flexibilidad del software de la centralita instalada en la empresa, trabajaremos con un promedio del consumo mensual con lo cual llegaremos al consumo de minutos en un día. Con esta información, utilizando luego una calculadora de erlangs, tendremos el número de líneas necesarios. La

información de minutos consumidos en un mes<sup>4</sup> se muestra en el cuadro N° 4.1.

Línea	Local	Característica	Minutos consumidos mensual
1	Principal	Línea Troncal	1817
2	Principal	Línea Clásica	775
3	Principal	Línea Clásica	874
4	Principal	Línea Clásica	532
5	Principal	Línea Clásica	159
6	C.REAL	Línea Clásica	453
7	C.REAL	Línea Clásica	98
8	JOCKEY	Línea Clásica	367

Fuente: Recibos telefónicos de la empresa

Cuadro 4.1. Consumo telefónico mensual en minutos

Total minutos mensual	:	4157 minutos/mes
Minutos por día	:	$4157 / 20 = 207.85$
Minutos por día (día laborable 8 horas)	:	$207.85 + 10\% = 228.635 \text{ min/día}$

Para obtener la cantidad de *erlangs consumidos en la hora de mayor tráfico*, multiplicamos la cantidad de minutos consumidos en un día por un factor de hora ocupada (busy hour factor) el cual significa el porcentaje de minutos diarios que se ofrecen durante la hora más ocupada del día, el factor establecido por defecto para un sistema que opera en un día laborable de 8 horas es de 17%. “Una cifra más elevada solo se recomienda si el día laborable es más corto o si las llamadas frecuentes se realizan en distintos intervalos de tiempo”<sup>5</sup>. Para obtener la cantidad de erlangs consumidos por todos los abonados en la hora de mayor tráfico (hora cargada, HC), utilizamos la siguiente fórmula:

<sup>4</sup> Cálculo para un solo mes, el mes de enero, para efectos de aproximación se le multiplicará por una constante para simular un mes de horario de oficina normal donde el flujo de llamadas es mayor.

<sup>5</sup> Extraído del portal web [www.erlang.com](http://www.erlang.com), pioneros en brindar herramientas para el cálculo de tráfico telefónico y participan en diversas soluciones para grandes empresas.

$$\text{Erlangs} = (\text{Minutos consumidos diario}) \times (\text{factor de hora ocupada})$$

Donde tenemos que:

Minutos consumidos diario : 228.635 minutos/día

Factor de hora ocupada : 17% = 0.17

Por lo tanto:

Erlangs consumidos en la hora de mayor tráfico (hora cargada, HC):

$$E_{HC} = 38.86 / 60 = 0.647 \text{ HC (erlangs)}$$

Con este valor y el número de abonados totales, utilizando una calculadora de erlangs, obtenemos el número de circuitos telefónicos necesarios para satisfacer la demanda en la hora de mayor tráfico.

Como se detalló en el capítulo anterior, los principales modelos utilizados para el tráfico telefónico son Erlang B, Erlang B extendido, Erlang C y Engset.

Para realizar el cálculo del número de circuitos, utilizaremos el **modelo Engset** ya que es el que modelo que se emplea en redes con pocas troncales donde el tráfico no es tan alto.

A continuación se muestra en la figura 4.1 el cálculo del número de circuitos telefónicos, con los datos que se tienen:

**Tráfico ofrecido (erlangs)** : 0.647 erlangs (HC)

**Número de abonados local principal** : 10

**Probabilidad de pérdida de llamada** : 1% (valor configurado por defecto si no se tiene un requerimiento de porcentaje de pérdida)

Introduciendo estos valores en la calculadora de erlangs, utilizando el modelo ENGSET, obtendremos el número de circuitos telefónicos necesarios para atender el tráfico en la hora cargada.

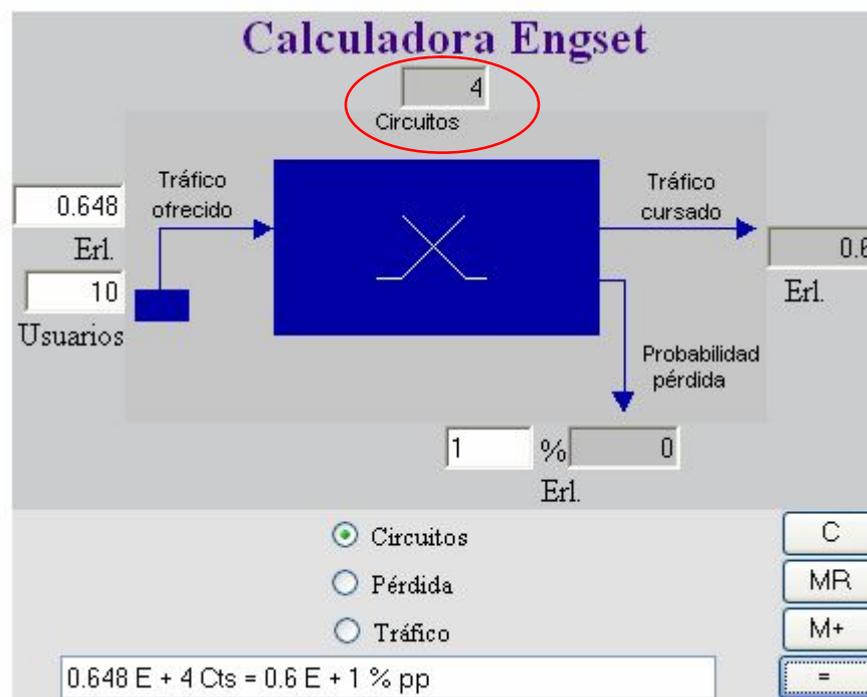


Figura 4.1. Cálculo de Circuitos Telefónicos

Utilizando la calculadora de erlangs, con el modelo Engset, obtenemos que para satisfacer el tráfico en la hora de mayor ocupación es necesario contar con **4 circuitos telefónicos en el local principal**.

En los locales remotos, al contar solo con un abonado por cada local, no es necesario realizar el cálculo ya que se necesitará un circuito para cada caso.

#### 4.1.2. Elección del codec de voz y Ancho de Banda

Con el número de líneas obtenido, ahora procedemos a calcular el ancho de banda de la red en kbps. Este cálculo depende únicamente del codec de voz que utilicemos para muestrear la voz analógica y comprimirlos en paquetes para ser enviados por la de red de datos.

En el capítulo 3, se detalló los codecs más importantes y para el presente capítulo elegiremos el más adecuado para el diseño.

Inicialmente el codec G.729 es uno de los más destacados, pero la desventaja es que este codec se encuentra patentado y se debe pagar una licencia por su uso, por cada canal que se utilice. Dado que uno de los objetivos del diseño de

la red es reducir los costos de operación, no es conveniente decidimos por este códec ya que debemos pagar licencia por 12 canales de voz, anualmente.

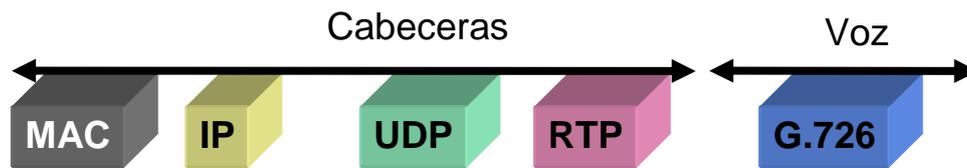
El códec G.711 ofrece una calidad de voz muy buena, sin embargo el gran uso de ancho de banda no lo hace recomendable ya la empresa por ser pequeña no posee una red de datos corporativa lo cual nos restringe el ancho de banda ha utilizar.

Finalmente la elección se limita a dos códecs, G.723.1 y G.726. El primero utiliza un ancho de banda bastante reducido con una calidad de voz regular, sin embargo G.726 tiene una buena calidad de voz, y un consumo de ancho de banda aceptable; por lo que elegiremos este último (G.726) para nuestro diseño y en consecuencia para el cálculo de ancho de banda necesario para cada local. Cabe resaltar que los equipos que se elegirán deberán contar con la opción de Voice Activity Detection<sup>6</sup> para aminorar el ancho de banda.

A continuación hallaremos el ancho de banda real utilizado por el codec elegido. Para ello analizamos la trama que se transmitirá finalmente hacia la red de datos. El contenido de la trama ethernet, se compone de una cabecera MAC (18 bytes) y luego los bytes de datos. Dentro de la parte de datos, se encapsulan las cabeceras de las capas superiores del modelo OSI: cabecera del protocolo IP en la capa de red (capa 3), cabecera del protocolo UDP en la capa de transporte (capa 4) y finalmente la cabecera del protocolo RTP que se encuentra en la capa de aplicación (capa7). En el siguiente gráfico se muestra la trama ethernet compuesta por las cabeceras de los protocolos utilizados en cada capa del modelo OSI y la parte de datos que en este caso es la voz.

---

<sup>6</sup> En el Anexo 5 se muestra en detalle la forma de operación de VAD



### Trama Ethernet

#### Cabeceras

MAC	:	18 bytes
IP	:	20 bytes
UDP	:	8 bytes
RTP	:	12 bytes
Total cabeceras	:	58 bytes
Voz [G.726(32k)]	:	80 bytes

Tamaño de trama = Cabeceras + Voz = 138 bytes

Rate = Códec neto/ Códec Payload = 32000 bits/ (80\*8 bits) = 50 pps

Ancho de banda = Tamaño de trama \* rate = 138 \* 8 \* 50 = **55.2 kbps**

#### Local principal

Ancho de banda total = 4 canales x 55.2 kbps/canal = 220.8 Kbps

Con Voice Activity Detection:

**Ancho de banda<sub>(VAD)</sub> = 220.8 - 35% = 143.52 kbps**

#### Locales remotos

Ancho de banda total = 1 canal x 55.2 kbps/canal = 55.2 Kbps

Con Voice Activity Detection:

**Ancho de banda<sub>(VAD)</sub> = 55.2 - 35% = 35.88 kbps**

#### 4.2. Elección y configuración de equipos.

La elección de los equipos se realiza de acuerdo al protocolo de señalización elegido. Para nuestro caso se elige utilizar el protocolo de señalización **SIP**<sup>7</sup>.

Realizada la comparación de los tres protocolos propuestos en el capítulo anterior (H.323, SIP e IAXv.2) podemos descartar en primer lugar al protocolo H.323; por ser el conjunto de protocolos más completo, su operación es más compleja, lo cual lo hace ideal para redes con grandes cantidades de usuarios, los componentes que utiliza también son más costosos debido a que poseen mayor funcionalidad que SIP o IAX.

La gran ventaja del protocolo IAX sobre SIP es la capacidad de traspasar el NAT, sin embargo con SIP se puede solucionar dicho problema conectando con un servidor STUN para resolver direcciones.

Teniendo en cuenta que IAX es un protocolo que se encuentra aun proceso de estandarización, no se cuenta con la suficiente disponibilidad de equipos en el mercado. Por lo tanto, el protocolo recomendado para el diseño de la red es el protocolo SIP debido a su simplicidad y bajo costo de implementación.

Al tener elegido el protocolo de señalización, procedemos a elegir el servidor de registro, los equipos terminales y el gateway requerido, para los servicios de voz, así como los equipos de networking utilizados para la transmisión de datos.

##### 4.2.1. Servidor SIP

Para implementar el servidor SIP necesitamos tener las características del hardware y el software que se instalará sobre él.

---

<sup>7</sup> En el anexo 3 se detalla a profundidad los componentes y operación del protocolo SIP

## Software

En primer lugar elegiremos el software de la central IP/PBX ya que de acuerdo a la elección de dicho software tendremos algunos requerimientos para el Sistema Operativo y el hardware del servidor ha utilizar.

La elección del software de comunicaciones no es un proceso que nos presente mayores inconvenientes. Al momento de realizar la presente tesis el software Asterisk es el más usado en lo que se refiere a aplicaciones de Voz sobre IP. Sin embargo existen también softwares propietarios que se están empezando a usar en algunas empresas. Uno de los más rescatables es el software 3CX diseñado por Microsoft. A continuación se muestra en el cuadro 4.2 una comparación entre estos dos softwares para luego sustentar la elección.

Características	Asterisk	3CX
Protocolos que soporta	H.323, SIP, IAX, etc	solo SIP
Tipo de software	Libre	Propietario
Funcionalidad	Todas las opciones disponibles	Según el tipo de licencia se tienen mayor cantidad de opciones
S.O. sobre el que trabaja	Linux	Windows
Configuración	Dificultad media. Programación por comando de línea (CLI)	Fácil configuración. Interfaz gráfica
Costo	Libre	Small business \$350 Professional \$895 Enterprise \$1250

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.2. Comparación de software de centralita.

Siguiendo la tendencia de utilizar software libre para disminuir costos, el software que utilizaremos para el servidor SIP será Asterisk. Además de ser un software libre, cuenta con todas las funcionalidades propias de una centralita basada en hardware (conmutación, transferencia de llamada, llamada en espera, identificación de llamadas, buzón de voz, etc.)

El siguiente paso, ahora que tenemos elegido el software de la central, será elegir la *distribución* del sistema operativo Linux que se utilizará. En primer

lugar se debe aclarar que al ser Asterisk un código fuente el cual se va a compilar e instalar utilizando unas librerías estables, es muy claro que sobre cualquier distribución -en la cual se instalen las librerías necesarias para la compilación- funcionará perfectamente. Sin embargo existen ciertas características de cada una de las distribuciones de Linux la cual nos pueda ayudar a realizar la elección en base a la facilidad de configuración o algunos otros parámetros

En el cuadro 4.3 se muestran las principales distribuciones de Linux y algunas de sus características.

Distribución	Ultima version	Instalacion	Propósito principal	Arquitectura del procesador	Precio (\$)
Red Hat Enterprise Linux	RHEL-5.1	Gráfica	Estaciones empresariales, desktop, servidores	i386, ia64, ppc, x86-64	80 - 2,500
Fedora	Fedora 8	Gráfica	Propósito general	i386, ppc, ppc64, s390, s390x, x86_64	Libre
Debian	4.0 (etch)	Gráfica/texto	Propósito general	Alpha, AMD64, Arm, HPPA, i386, IA64, m68k, Mips, Mipsel, PPC, S390, Sparc	Libre
CentOs	5.0	Gráfica	servidores	i386, x86_64	Libre
OpenSuse	10.3	Gráfica	Desktop	i586, ppc, x86_64	Libre

Fuente: Portales web de DistroWatch.com y Wikipedia.com

Cuadro 4.3. Principales distribuciones de linux

En el cuadro comparativo tenemos características muy similares en las distribuciones presentadas, a excepción del Red Hat Linux Enterprise que no es una distribución gratuita.

Sin embargo existen algunas características adicionales para la distribución de Debian Linux que la hacen más eficiente para utilizar con el software de comunicaciones Asterisk. Algunas características adicionales de esta distribución son:

- La instalación es sencilla
- Los paquetes necesarios para el funcionamiento de asterisk son tan estables que existe una mínima posibilidad de tener problemas con el servidor.
- La instalación mínima para tener un servidor Asterisk, apenas ocupa 400Mb de disco duro.
- No instala librerías que no se vaya realmente a utilizar
- Compatible con casi cualquier arquitectura y tecnología desde un i386 en adelante
- Compatibilidad total con tarjetas de telefonía

Por todas estas razones se elige la distribución de **Linux Debian** como sistema operativo sobre el cual se instalará el software Asterisk.

### Hardware

Como se mencionó en el ítem 3.1.1. del capítulo anterior, el hardware se seleccionará en base a recomendaciones y luego se comprobará su correcto funcionamiento sometiéndolo a pruebas de capacidad.

En el cuadro 4.4 se muestra la recomendación de hardware de acuerdo al número de canales (que es el factor más importante en la elección) que se tiene en el sistema. Esta recomendación fue extraída del libro “Asterisk – The future of Telephony” (referencia bibliográfica [34]) el cual es el libro de consulta recomendado en la página web de Digium<sup>8</sup>.

Tipo de sistema	Número de canales	Hardware mínimo recomendado
Sistema de hobby	No más de 5	400+-MHz x86, 256 MB RAM
Sistema SOHO	5 a 10	1-GHz x86, 512 MB RAM
Sistema de pequeña empresa	Hasta 15	3-GHz x86, 1 GB RAM
Sistemas mediano a grande	Más de 15	Dual CPUs, si es posible utilizar múltiples servidores en una arquitectura distribuida.

Fuente: Asterisk: The future of Telephony [34]

Cuadro 4.4. Recomendación de hardware mínimo

<sup>8</sup> Digium es la compañía que desarrolla el software Asterisk

Siguiendo estas recomendaciones, se propone el siguiente hardware como solución para el servidor:

<i>Hardware del servidor</i>		
Componente	Característica	Fundamento
Procesador	3 GHz CPU, 533 MHz FSB	Recomendable para un sistema instalado en una pequeña empresa, el número de usuarios de la red será de 12, también se deja el margen para el caso que aumenten los números de canales
Memoria RAM	512	El servidor será utilizado solo para señalización no se realiza un mayor consumo de memoria.
Disco duro	40GB	La instalación del sistema operativo y el software Asterisk no ocupan más de 2GB aproximadamente, sin embargo al tratarse de un servidor necesitamos espacio libre para realizar backups de algún tipo de información
Tarjeta de interfaz de red	FastEthernet 100/10	La cantidad de usuarios (12) es pequeña para requerir una tarjeta de mayor capacidad, el tráfico que ingresará al servidor (solo de señalización) aún en la hora de mayor tráfico será mucho menor a los 144kbps calculados para la carga de audio
Slots PCI	1 PCI Express	Para tener posibilidad de integrar tarjetas FXO, FXS o T1/E1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.5. Hardware propuesto para el servidor

#### 4.2.1.1. Plan de marcación

El plan de marcación determina los números que serán asignados a cada usuario de cada local para establecer comunicación interna, y la manera en que se conseguirá la comunicación con los abonados de la Red Telefónica Pública. El formato designado para los ID de usuarios tiene la siguiente forma: *IngXX* donde los primeros tres caracteres indican el área (Gerencia, Administración, Ingeniería y Ventas) y los dos siguientes dígitos corresponden al anexo dentro de la unidad de gestión. El plan de marcación elaborado se presenta en el cuadro 4.6.

Local	Usuario	Número Asignado	Líneas a PSTN
Principal	Ger01	01	4 FXO
	Adm01	11	
	Adm02	12	
	Ing01	21	
	Ing02	22	
	Ing03	23	
	Ing04	24	
	Ing05	25	
	Ing06	26	
	Ing07	27	
	Gwy00	00	
C. Real	Ven01	31	1 FXO
	Gwy01	00	
Jockey	Vent02	32	1 FXO
	Gwy02	00	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.6. Plan de Marcación Asignado

Para configurar el plan de marcación utilizamos el archivo `extensions.conf`, a continuación se muestra un ejemplo de la configuración de este archivo para un usuario<sup>9</sup>

```

exten => 21,1,Dial(SIP/21,30,t)
exten => 21,2,Voicemail(u21@default)
exten => 21,3,Hangup
exten => 21,102,Voicemail(b21@default)

```

Las sentencias tienen el siguiente formato:

`exten =>` extensión, prioridad, parámetros

La extensión indica el número marcado, la prioridad el orden en que se ejecutan las acciones (1 mayor prioridad) y parámetros la acción que se ejecuta.

Para este caso la primera línea nos indica que si llaman al número 21 se ejecuta el comando `Dial(destino, timeout, opciones)`. El destino `SIP/21` nos indica que se marque al número 21 asociado al archivo `sip.conf` (se verá en la

<sup>9</sup> El archivo de configuración `extensions.conf` completo se muestra en el Anexo 4.

siguiente sección), por 30 segundos y la “t” habilita la opción de transferencia de llamada de parte del abonado llamado.

La segunda línea nos envía al correo configurado en el archivo voicemail.conf, para dejar un mensaje de voz en caso no se conteste la llamada.

La tercera línea nos indica que se cuelga la llamada (*Hangup*) después de dejar el mensaje.

La línea final nos indica que si el usuario no se encuentra conectado también salta al buzón de voz configurado.

#### 4.2.1.2. Configuraciones SIP

Las configuraciones referidas al protocolo SIP las he programado en el archivo sip.conf a continuación se muestra un ejemplo de la configuración de este archivo para un usuario<sup>10</sup>

```
[21]
type=friend
username=21
secret=pruebas
host=dynamic
canreinvite=no
context=sip
disallow=all
allow=g726
nat=yes
allow=all
dtmfmode=auto
qualify=yes
callerid="Ing01" <Ing01 21>
voicemail=21@default
```

En síntesis, esta configuración nos indica que el número 21 es un usuario de tipo “*friend*” (puede realizar y recibir llamadas, un usuario tipo “*peer*” solo puede recibir llamadas), el nombre de usuario asignado para su registro es 21 y la contraseña para su autenticación es “pruebas”. No tiene una dirección IP

<sup>10</sup> El archivo de configuración sip.conf completo se muestra en el Anexo 4.

asignada (puede registrarse desde cualquier red) utiliza el codec G.726 para comunicarse, el teléfono se encuentra detrás de un dispositivo NAT, su nombre de call ID será “Ing01 21” y el correo de voz es el definido por defecto en el archivo voicemail.conf

El archivo voicemail.conf es un archivo sencillo que asocia cada número a un correo electrónico para utilizarlo como buzón de voz.

#### 4.2.2. Equipos terminales

Para la elección de los teléfonos IP debemos tener en cuenta que soporten el códec G.726 (32 kbps) que elegimos para el cálculo de ancho de banda de la red, así como también la opción de VAD (Voice Activity Detection).

	<b>Cisco 7906G</b>	<b>Linksys SPA922</b>	<b>3com 3101</b>	<b>Grandstream GXP – 2000</b>
<b>Codecs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.729A</li> <li>• G.729AB</li> <li>• G.711u</li> <li>• G.711a</li> <li>• VAD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.723.1</li> <li>• G.729A • VAD • Dynamic Jitter Buffer</li> <li>• G.711u</li> <li>• G.711a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711</li> <li>• G.722</li> <li>• Dynamic Jitter Buffer</li> <li>• G.729AB</li> </ul>	G.711 (PCM a-law and u-law), G.723.1 (5.3K/6.3K), G.729A, G.726 (32K) and iLBC VAD
<b>Protocolos que soporta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TFTP</li> <li>• DHCP</li> <li>• 802.1 p/q</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TFTP • HTTP</li> <li>• DHCP • ICMP • NAT • ARP</li> <li>• SNTP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DHCP</li> <li>• 802.1 p/q</li> </ul>	HTTP, ICMP, ARP/RARP, DNS, DHCP, NTP, PPPoE, STUN, TFTP
<b>Conectividad Ethernet</b>	----	2 Puertos RJ45 10/100 BaseTX	2 Puertos RJ45 10/100 BaseTX	2 Puertos RJ45 10/100 BaseTX
<b>Funcionalidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Call Hold</li> <li>• Message waiting indication</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Call Transfer</li> <li>• Call Hold</li> <li>• Call Pick-up</li> <li>• Call Waiting</li> <li>• Message Waiting Indication</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Call Transfer</li> <li>• Message waiting indication</li> <li>• Name ID</li> </ul>	Caller ID Display, Call Waiting, Hold, Transfer, Forward, 3-Way Conference
<b>Alimentación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PoE (802.3af)</li> <li>• AC Power</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PoE (802.3af)</li> <li>• AC Power</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PoE (802.3af)</li> <li>• AC Power</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PoE (802.3af)</li> <li>• AC Power</li> </ul>
<b>Costo</b>	\$ 134.94	\$ 129.5	\$89	\$ 100

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes (Anexo 1)

Cuadro 4.7. Comparación de Teléfonos IP

De el cuadro 4.7, observamos que el teléfono IP que se ajusta a nuestras necesidades es el del fabricante GrandStream, ya que posee el códec que necesitamos y posee también alimentación de energía sobre la red (Power over Ethernet, 802.3af) lo cual nos evita el uso de tomas eléctricas y nos facilita la protección en caso de falla de la energía eléctrica. Por lo tanto, estos serán los terminales seleccionados para el local principal.

Para los locales remotos, la solución es distinta. Debido a que en cada local remoto solo se tiene un abonado sería demasiado costoso instalar un teléfono IP y un gateway de voz para salida a la Red Telefónica Pública por lo que se opta por utilizar un ATA (Adaptador de Teléfono Analógico) que tiene un puerto FXO incorporado que cumple la función de gateway con la RTP. A continuación se muestra el cuadro 4.8 con las diferentes opciones de ATA's.

	<b>Linksys SPA3102</b>	<b>Zoom 5800</b>	<b>Grandstream HT-488</b>
<b>Codecs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.729A</li> <li>• G.726 (40 ,32 ,24, 16K)</li> <li>• G.711u</li> <li>• G.711A</li> <li>•G.723.1 (5.3K/6.3K)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711</li> <li>• G.729A</li> <li>• iLBC</li> </ul>	G.711 (PCM a-law and u-law), G.723.1 (5.3K/6.3K), G.729A, G.726 (32K) and iLBC VAD
<b>Puertos</b>	1 FXS, 1 FXO 2 LAN, 1 WAN	1 FXS, 1 FXO 1 LAN, 1 WAN	1 FXS, 1 FXO 1 LAN, 1 WAN
<b>Protocolos que soporta</b>	ARP, DNS, DHCP, SNTP.	HTTP, DHCP Client, SNTP, STUN, TFTP, Ppoe, NTP.	HTTP, DNS,DHCP, NTP, PPPoE, STUN, TFTP
<b>Calidad de Servicio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DiffServ</li> <li>• TOS</li> <li>• VLAN Tagging 802.1p</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Layer 2 (802.1Q)</li> <li>•Layer 3 Type-of-Service (ToS) Tagging</li> <li>• Layer 3 DIFFServ</li> </ul>	Layer 2 (802.1Q VLAN, 802.1p) Layer 3 QoS (ToS, DiffServ)
<b>Funcionalidad</b>	Call Waiting, Caller ID , Call Forwarding, Call Transfer, Three-way Conference Calling with Local Mixing, Call Return, Call Blocking, Fax: G.711 Pass Through or Real Time Fax over IP via T.38	DTMF, Caller ID Generation and Detection (Type I and II), 3-way conference calling with local mixing, Message waiting indicator light, G.711 Fax Pass-through.	Caller ID, Hold, Call Waiting, Call Transfer, Call Forward, 3-way conference, in-band and out-of-band DTMF, etc.
<b>Costo</b>	\$ 75.95	\$ 58.95	\$ 67.95

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes (Anexo 1)

Cuadro 4.8. Adaptadores de Teléfono Analógicos (ATA's)

Del cuadro 4.8 se elige el equipo HT-488 del fabricante GrandStream debido a que es el que posee el codec deseado y la función de VAD para optimizar el consumo de ancho de banda. Por lo tanto estos serán los equipos utilizados para las oficinas remotas.

#### 4.2.3. Gateway de Voz Analógico

A continuación se muestra el cuadro N° 4.9 con las diferentes opciones de gateways y sus principales características.

	<b>Mediatrix 1204</b>	<b>Patton Smartnode 4520</b>	<b>AudioCodes MP - 114</b>	<b>GrandStream GXW – 4104</b>
<b>Puertos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 FXO</li> <li>• 1 WAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 FXO</li> <li>• 1 WAN / 1LAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 FXO</li> <li>• 1 WAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 FXO</li> <li>• 1 WAN / 1 LAN</li> </ul>
<b>Señalización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H.323</li> <li>• SIP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H.323v4</li> <li>• SIPv2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H.323v4</li> <li>• SIP</li> <li>• MGCP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SIP</li> </ul>
<b>Codecs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711(u,A)</li> <li>• G.729A</li> <li>• G.729AB</li> <li>• G.726</li> <li>• G.723.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711(u,A)</li> <li>• G.729AB</li> <li>• G.726</li> <li>• G.723.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711(u,A)</li> <li>• G.729A</li> <li>• G.726</li> <li>• G.723.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711(u,A)</li> <li>• G.729A</li> <li>• G.729AB</li> <li>• G.726</li> <li>• G.723.1</li> <li>• GSM</li> </ul>
<b>Calidad de Servicio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ToS</li> <li>• DiffServ</li> <li>• 802.1p</li> <li>• 802.1Q</li> <li>• WFQ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ToS • DiffServe</li> <li>• 802.1p</li> <li>• Access Control Lists • Advanced QoS and traffic management. <b>Voice-priority</b>, traffic shaping to ensure optimal up and downstream voice quality</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ToS</li> <li>• DiffServ</li> <li>• 802.1p</li> <li>• 802.1Q</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ToS</li> <li>• DiffServ</li> <li>• 802.1p</li> <li>• 802.1Q</li> </ul>
<b>Administración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SNMPv3</li> <li>• HTTP</li> <li>• TFTP</li> <li>• DHCP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SNMPv1</li> <li>• HTTP</li> <li>• TFTP</li> <li>• CLI, Telnet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HTTP</li> <li>• TFTP</li> <li>• DHCP</li> <li>• BootP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HTTP, HTTPs</li> <li>• TFTP</li> <li>• Telnet</li> <li>• SysLog</li> </ul>
<b>Funcionalidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fax over IP</li> <li>• Call Forward on Busy or on No Answer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fax over IP</li> <li>• <b>IP routing</b> and Services, NAT/PAT, DHCP Server,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fax over IP</li> <li>• Caller ID</li> <li>• Short and long haul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fax over IP</li> <li>• Caller ID</li> <li>• Flexible DMTF transmission</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Call Transfer</li> <li>• 3-way Conference Call</li> <li>• Call Waiting</li> <li>• Caller ID on Call Waiting</li> <li>• Call on Hold</li> <li>• H.245 and Out-of-Band DTMF</li> <li>• H.450 basic services</li> <li>• Voice Activity Detection</li> </ul>	PPPoE, IP Filter Lists provide full Internet access capabilities and security <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caller ID</li> <li>Hook-Flash</li> <li>• Sending, Hook-Flash relay, DTMF send, detect, and relay</li> <li>• Off-hook and ring detection, Automatic line gain,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamic Programable Jitter Buffer</li> <li>• Voice Activity Detection</li> <li>• Confort Noise Generation</li> <li>• Echo Cancellation</li> </ul>	method. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Short and long haul</li> <li>• Echo Cancellation</li> </ul>
<b>Costo</b>	\$499.95	\$ 495	\$ 394.95	\$299

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes (Anexo 1)

Cuadro 4.9. Comparación de Gateways Analógicos

Teniendo en cuenta las opciones propuestas en el cuadro 4.9 se llega a la conclusión que el Gateway adecuado para nuestro diseño, es el SmartNode 4520 del fabricante Patton. Este dispositivo además de ser un Gateway Analógico, también incorpora la función de Router, con prioridad para los paquetes de voz, lo cual nos ahorrará el tener dos dispositivos (Router con gestión de ancho de banda + Gateway) y aumentar el retardo que en el caso de transmisión de voz en tiempo real es un tema crítico.

#### 4.2.4. Dispositivos para datos

Como se indicó en el capítulo anterior los dispositivos utilizados para la transmisión de datos son los routers y los switches. Sin embargo cuando elegimos el gateway de voz, este dispositivo también tiene la funcionalidad de router por lo que ya no es necesario. Solo debemos elegir el switch conveniente. El cuadro 4.10 muestra las opciones de switch:

	<b>Linksys SFE2000</b>	<b>3Com Baseline 2226-PWR</b>	<b>D-link DES-1228P</b>
<b>Capa OSI</b>	Capa 2/ Capa 3	Capa 2	Capa 2
<b>Puertos</b>	24x10Base-T/ 100Base-TX (RJ-45)	24 x 10Base-T/ 100Base-TX (RJ-45)	24 x 10Base-T/ 100Base-TX (RJ-45)
<b>Gestionable</b>	SI	SI	SI
<b>Protocolos para Gestión</b>	HTTP, Telnet, RMON, SNMP, TFTP, SSH, SSL, HTTPS	HTTP	HTTP • SNMP 1
<b>VLAN's</b>	256	64	256
<b>Protocolos que soporta</b>	802.1d Spanning Tree Bridge • 802.1p LAN Layer 2 QoS/CoS Protocol for Traffic Prioritization • 802.1Q Virtual LANs (VLAN) • 802.3af Power over Ethernet • 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) • IEEE 802.3x Flow Control	IEEE 802.1d Spanning Tree Bridge • 802.1p LAN Layer 2 QoS/CoS Protocol for Traffic Prioritization • IEEE 802.1Q Virtual LANs (VLAN) • 802.3af Power over Ethernet • 802.3x Flow Control	802.1d Spanning Tree Bridge • 802.1p LAN Layer 2 QoS/CoS Protocol for Traffic Prioritization • IEEE 802.1Q Virtual LANs (VLAN) • IEEE 802.3af Power over Ethernet • IEEE 802.3z Gigabit Ethernet over fiber standard (1000BaseX)
<b>Costo</b>	\$250	\$326	\$280

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes (Anexo 1)

Cuadro 4.10. Switches Ethernet

Del cuadro 4.10 elegimos el switch Linksys SFE2000 debido a que soporta más protocolos de gestión y además es un switch de capa 3 también, con lo cual se pueden utilizar los puertos libres para otras aplicaciones.

### 4.3. Diseño de la Red

En esta sección se realiza el bosquejo de la solución presentada utilizando los elementos elegidos en los puntos anteriores.

Primero se realiza el plan de direccionamiento para establecer las direcciones de red (IP) asignadas tanto a los equipos terminales como a las estaciones de trabajo (PC), luego se muestra el diagrama final del diseño y finalmente se

explica el funcionamiento de la red para los diferentes escenarios que se puedan presentar.

#### 4.3.1. Plan de Direccionamiento

Especifica las direcciones IP de los hosts y las VLANs asignadas a cada grupo. En el cuadro 4.11 se muestra el plan de direccionamiento configurado, utilizando VLAN's para crear grupos separados de Voz y Datos, y también para separar las áreas de gestión dentro del local principal

#### Local Principal

##### VLANs

VLAN ID	Nombre de VLAN	Subred VLAN	Descripción
12	Voz	SR: 192.168.1.0 Máscara: 255.255.255.0 GW: 192.168.1.1	Teléfonos IP (VLAN de voz)
13	Admin	SR: 192.168.2.0 Máscara: 255.255.255.0 GW: 192.168.2.1	PC's de área de administración (VLAN datos)
14	Ingen	SR: 192.168.3.0 Máscara: 255.255.255.0 GW: 192.168.3.1	PC's área de Ingeniería (VLAN datos)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.11. Programación realizada en las VLANs

##### Direcciones IP

Dispositivo	Puerto	Dirección
Router	Ethernet 0	201.240.20.10 /30 <sup>11</sup>
	Ethernet 1	192.168.1.1 /24
		192.168.2.1 /24
Servidor	---	201.240.20.11 / 30

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.12. Direcciones IP en el local principal

<sup>11</sup> Será utilizado también como la dirección IP del Gateway de Voz para registrarse con el servidor VoIP

**Locales Remotos**

Para los locales remotos, al tener solo un usuario no se implementa VLAN, y solo se necesita tres direcciones IP. En el cuadro 4.13. se muestra el plan de direccionamiento para cada uno de los locales remotos.

Equipo	Dirección IP
Router	192.168.1.1 /24   201.240.117.211 (dinámica)
PC	192.168.1.2 /24
ATA	192.168.1.3 /24

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.13. Direcciones IP en locales remotos

**4.3.2. Diagrama del diseño realizado**

Finalmente se presenta el diseño de la Red de Voz sobre IP con su esquema de direccionamiento. En primer lugar se muestra la figura 4.2 con el diagrama general de la red expuesto anteriormente en la sección 3.6.

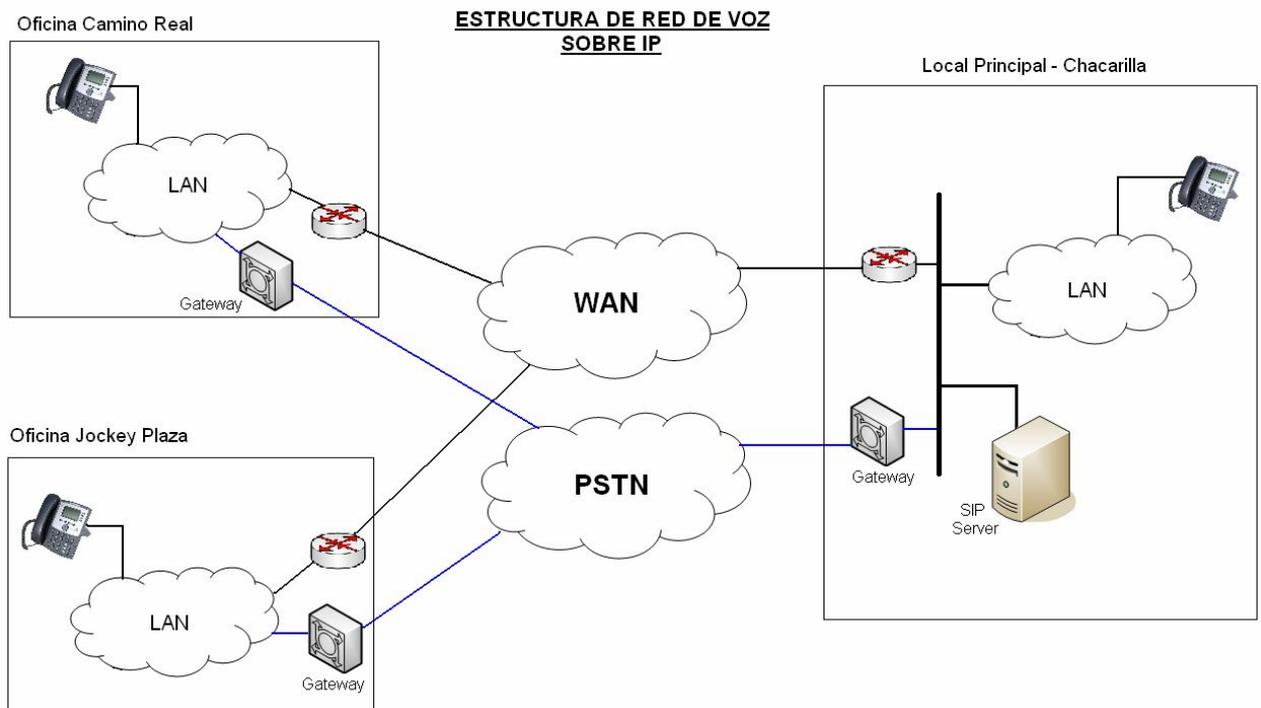


Figura 4.2. Diagrama General de la Red

A continuación en la figura 4.3. se muestra el diagrama de Red diseñado para el Local Principal Chacarilla.

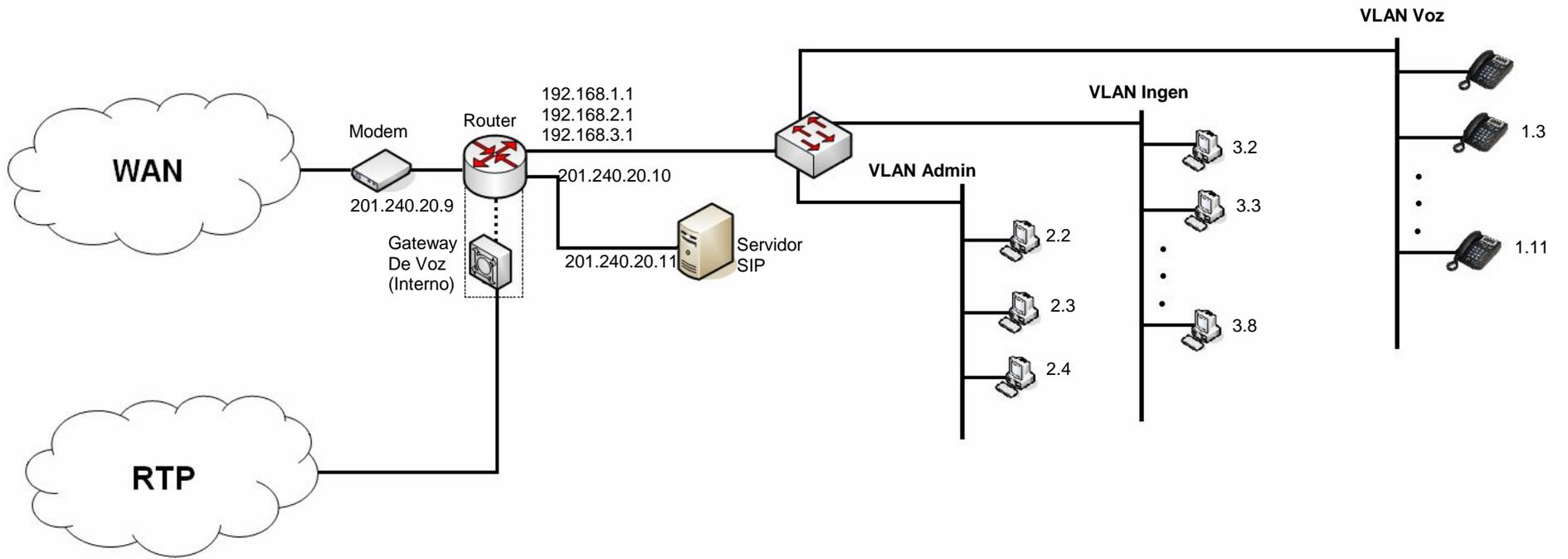


Figura 4.3. Diagrama de Red del Local Principal Chacarilla

En la figura 4.4 se muestra el diagrama de red diseñado para el Local Remoto Camino Real

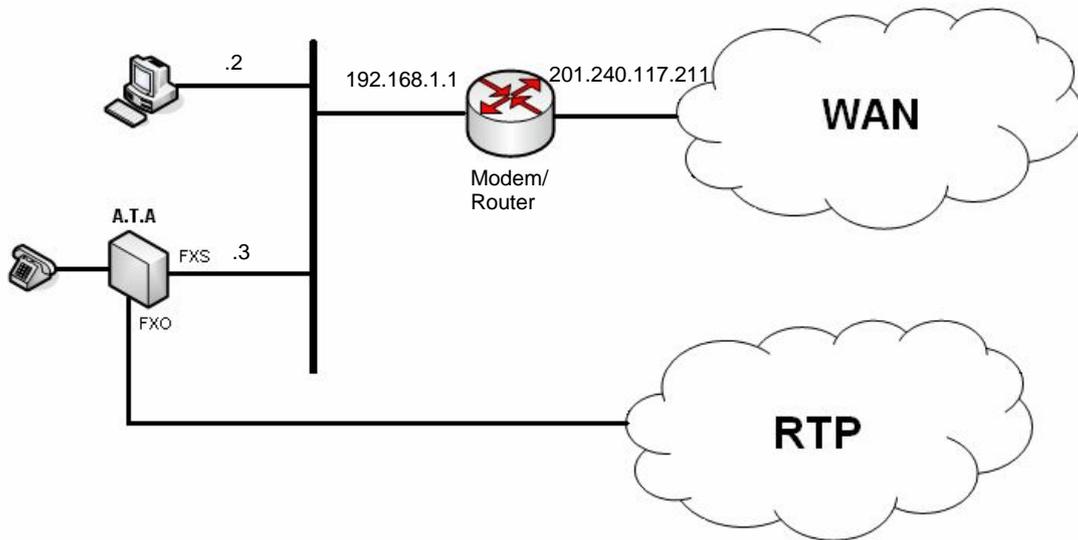


Figura 4.4. Diagrama de Red del Local Remoto Camino Real

Finalmente en la figura 4.5 se muestra el diagrama de red diseñado para el Local Remoto Jockey Plaza

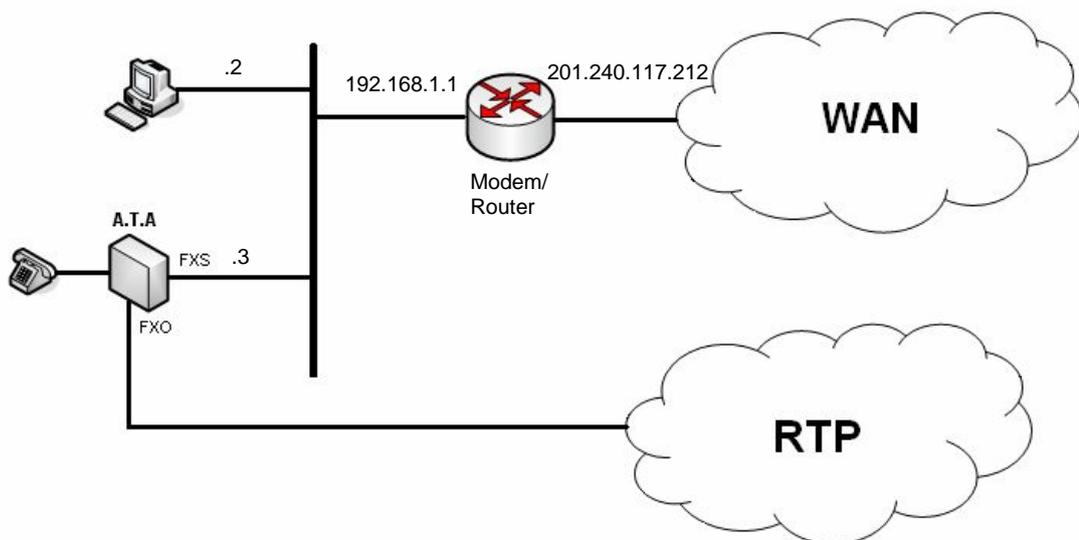


Figura 4.5. Diagrama de Red del Local Remoto Jockey Plaza

#### 4.3.3. Diagramas de Operación de la Red

Una vez diseñada la red de Voz sobre IP, a continuación, se detallan los modos de operación de la red para los distintos escenarios que se puedan presentar.

##### 4.3.3.1. Llamadas Internas en el Local Principal

Las llamadas internas que se realicen en el local principal, serán conmutadas en la Red LAN. El abonado llamante realiza la llamada la cual es traducida por una petición al servidor SIP, el cual ubica al abonado llamado dentro de la Red LAN y establece la comunicación. La transmisión de los paquetes de voz, se realizan directamente entre los terminales sin intervención del servidor SIP.

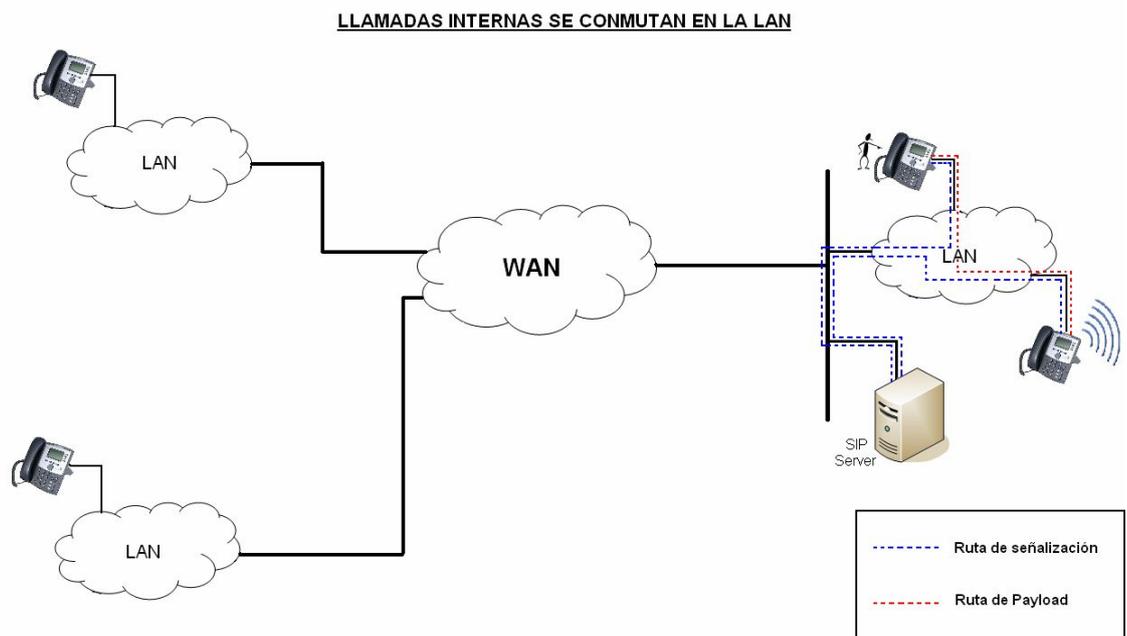


Figura 4.4. Llamadas Internas

##### 4.3.3.2. Llamadas entre locales

Las llamadas entre locales, se conmutan en la Red WAN, de igual manera el servidor SIP se encarga de realizar la señalización hasta establecer la comunicación, y luego el tráfico de voz de extremo a extremo será cursado en la Red WAN.

**LLAMADAS ENTRE LOCALES SE CONMUTAN EN LA WAN**

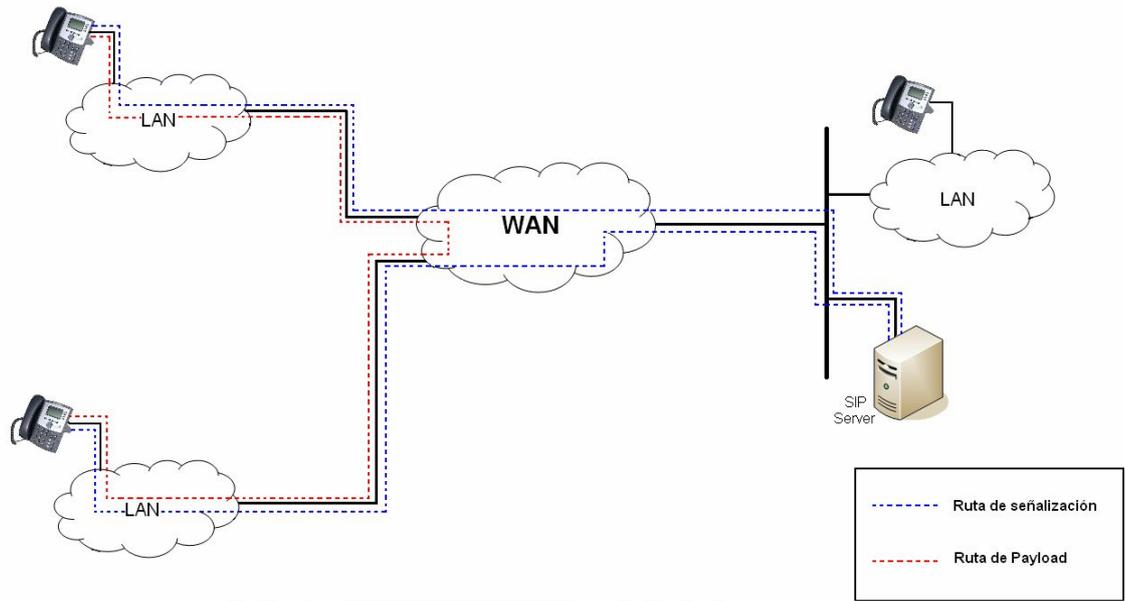


Figura 4.5. Llamada entre locales

**4.3.3.3. Llamadas hacia abonados externos**

Las llamadas hacia abonados externos (de la PSTN) se conmutan en la Red LAN y luego son conmutadas por el Gateway de Voz hacia la PSTN, una vez hecha la conmutación la llamada es transparente a la PSTN como si se hubiera realizado desde un terminal telefónico analógico.

**LLAMADAS EXTERNAS SE CONMUTAN EN LA PSTN**

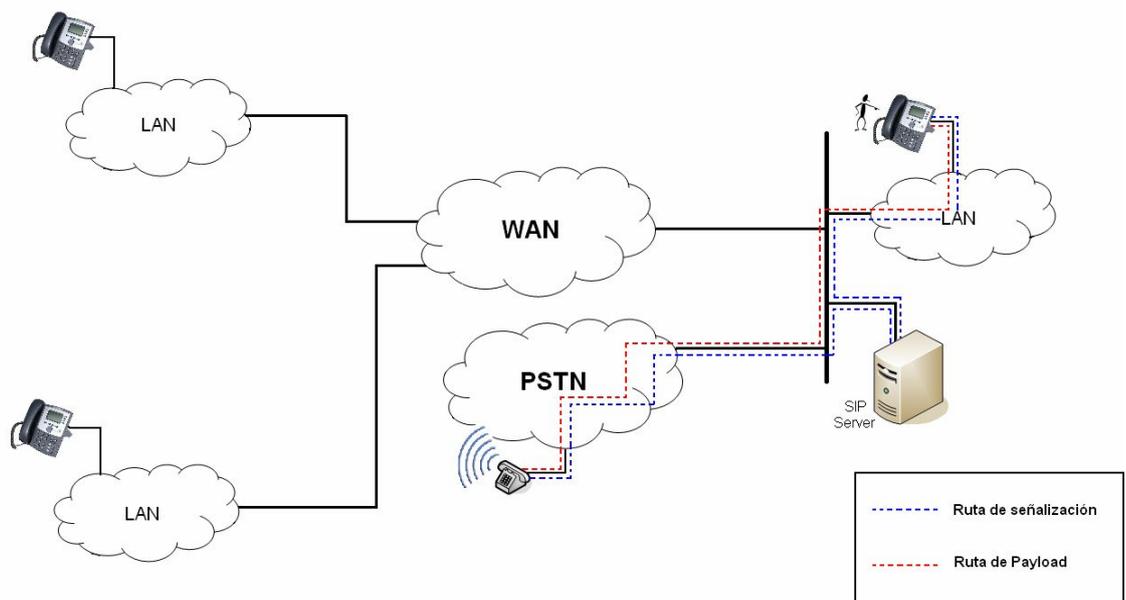


Figura 4.6. Llamadas externas

#### 4.4. Pruebas y resultados

Las pruebas que se realizarán para la presente investigación están limitadas a la prueba de capacidad de toda la red, esto significa comprobar que la red diseñada pueda soportar el tráfico de voz en la hora de mayor tráfico tanto en ancho de banda como en capacidad de procesamiento del servidor y los equipos de red.

Se sugiere también realizar las pruebas de calidad de la voz, a pesar de tener una referencia usando el M.O.S. (Mean Opinion Scores). Para tener un análisis completo se necesitará algún software especializado que mida con precisión el retardo extremo a extremo, el jitter (variación del retardo) y la pérdida de paquetes.

##### 4.4.1. Equipos y software utilizados para realizar las pruebas

###### Equipos

Los equipos utilizados para realizar las pruebas son: el servidor, un router ADSL y un switch simulando el local principal, y un router ADSL en el local remoto. La red IP WAN en este caso será la red Speedy de Telefónica del Perú.

###### Servidor

Para este caso se utiliza una PC de usuario en lugar de utilizar un servidor, donde solo se correrá la aplicación de la central VoIP (asterisk) y otras que sean necesarias para su funcionamiento. La PC utilizada como servidor tiene la mayor parte de características equivalentes a las propuestas en la sección 4.2.1:

- Procesador Intel de 3GHz / bus 400MHz
- Memoria RAM 512MB
- Disco Duro de 80GB
- Tarjeta de red FastEthernet 10/100 Mbps

### Router ADSL

Utilizado tanto en el local principal (Router SpeedTouch 545) como en el remoto (Router Zyxel Prestige 650HW), son modems/routers cuya interfaz WAN es ADSL para conectar a la línea telefónica, interfaz LAN de 4 puertos ethernet. Estos routers poseen agentes SNMP los cuales serán utilizados en este caso para monitorear el ancho de banda de los puertos del router.

### Switch

Switch de 4 puertos para poder conectar más terminales.

### Software

#### Suse Linux 10.0

Utilizado como sistema operativo para la PC utilizada como servidor.

#### Asterisk 1.4.15

El programa principal, es el software que realiza el trabajo de central IP. El mismo software que se utilizaría para implementar el diseño realizado.

#### PRTG Traffic Grapher V6.2.0.908

Ciente SNMP utilizado para monitorear el ancho de banda consumido para cada escenario de prueba realizado. El software se puede descargar y conseguir una licencia de uso del programa full por 30 días.

#### PhonerLite 1.41

Softphone, cliente SIP. Utilizado como terminal para realizar llamadas entre usuarios que trabajan bajo el protocolo SIP. Dentro de las ventajas es que cuenta con una gran cantidad de codecs y también la opción de detectar los silencios para no transmitir en esos momentos (VAD).

#### 4.4.2. Prueba de establecimiento de llamadas entre locales

##### Objetivo

El objetivo de esta prueba es verificar que se puede establecer, mantener y terminar una llamada entre locales externos, lo cual significa establecer llamadas entre terminales que se encuentran en redes diferentes.

##### Descripción de la prueba

Para realizar esta prueba, tenemos definido el siguiente escenario.

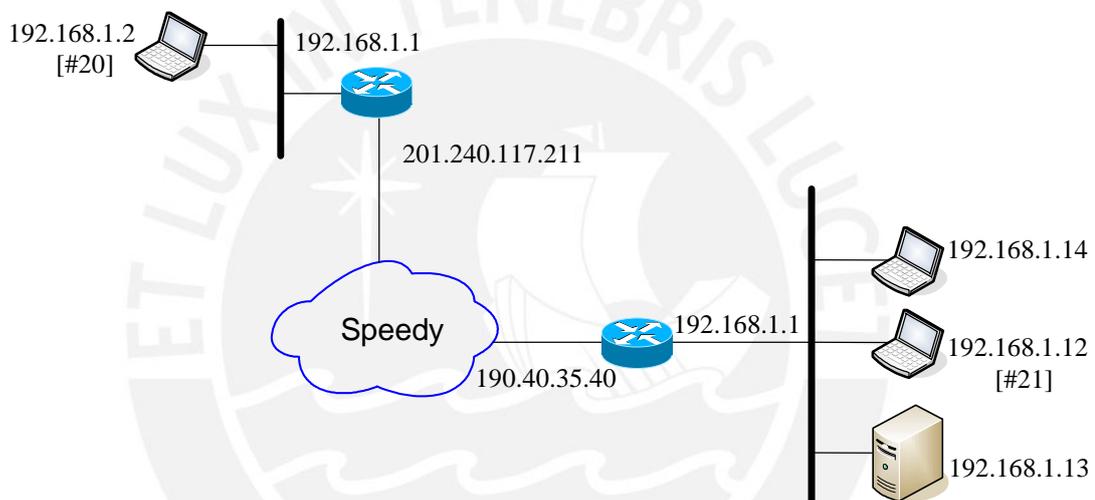
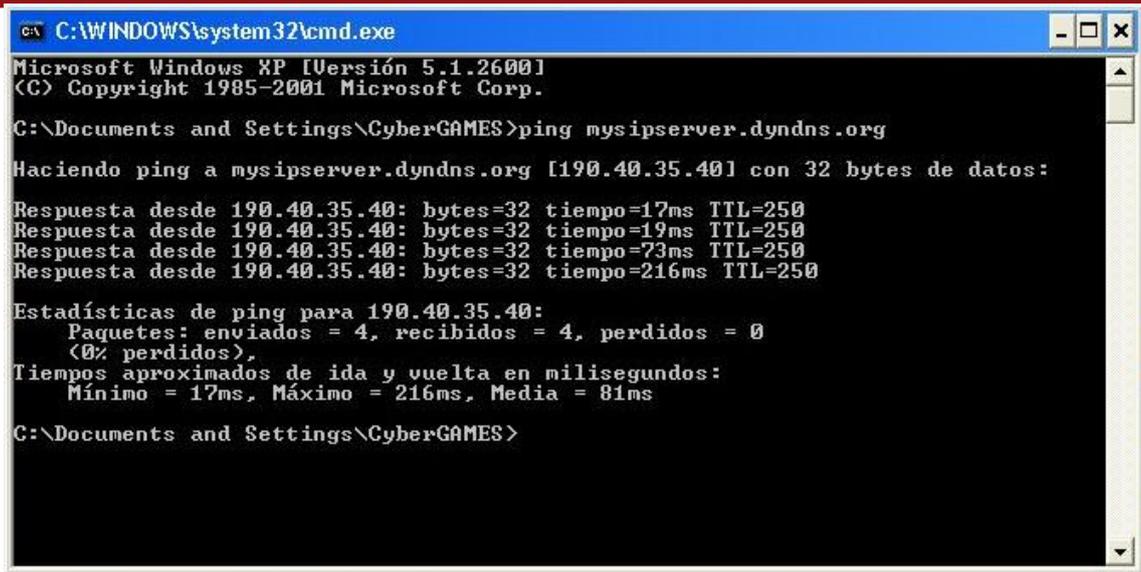


Figura 4.7 Escenario de prueba de establecimiento de llamada

Con este escenario, primero se realiza una petición de respuesta de eco, para verificar que se puede alcanzar a la red donde se encuentra el servidor desde otra red externa a este.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\CyberGAMES>ping mysipserver.dyndns.org

Haciendo ping a mysipserver.dyndns.org [190.40.35.40] con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 190.40.35.40: bytes=32 tiempo=17ms TTL=250
Respuesta desde 190.40.35.40: bytes=32 tiempo=19ms TTL=250
Respuesta desde 190.40.35.40: bytes=32 tiempo=73ms TTL=250
Respuesta desde 190.40.35.40: bytes=32 tiempo=216ms TTL=250

Estadísticas de ping para 190.40.35.40:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 17ms, Máximo = 216ms, Media = 81ms

C:\Documents and Settings\CyberGAMES>
```

Figura 4.8. Ping desde el local remoto hacia el local principal

Como se muestra en la figura 4.8 se obtiene respuesta a la solicitud de eco, lo cual nos indica que no tenemos problemas de conectividad hasta la capa 3 entre los dos locales sobre los que se está realizando las pruebas.

Luego conectamos los terminales tanto local como remoto al servidor para su registro. Estos terminales se deben registrar con el servidor para poder realizar y recibir llamadas. Para verificar el correcto registro de los terminales, se muestra la figura 4.9 con una captura de pantalla del terminal de consola de Asterisk, en el cual se muestra los usuarios y las direcciones IP con las cuales se han registrado los terminales.

```

Asterisk Console on 'linux' (pid 6782)
== Registered application 'DBdel'
== Registered application 'DBdeltree'
app_db.so => (Database Access Functions)
== Registered custom function GLOBAL
func_global.so => (Global variable dialplan functions)
== Registered application 'WaitForSilence'
app_waitforsilence.so => (Wait For Silence)
== Parsing '/etc/asterisk/sip.conf': Found
== Parsing '/etc/asterisk/users.conf': Found
== SIP Listening on 0.0.0.0:5060
== Using SIP TOS: none
== Parsing '/etc/asterisk/sip_notify.conf': Found
== Registered channel type 'SIP' (Session Initiation Protocol (SIP))
== Registered application 'SIPdtmfMode'
== Registered application 'SIPAddHeader'
== Registered custom function SIP_HEADER
== Registered custom function SIPPEER
== Registered custom function SIPCHANINFO
== Registered custom function CHECKSIPDOMAIN
== Manager registered action SIPpeers
== Manager registered action SIPshowpeer
chan_sip.so => (Session Initiation Protocol (SIP))
Asterisk Ready.
*CLI> [Feb 24 21:50:06] NOTICE[6812]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '21' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
*CLI> -- Registered SIP '20' at 201.240.117.211 port 23776 expires 900
[Feb 24 21:51:47] NOTICE[6812]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '20' is now Reachable. (285ms / 2000ms)
*CLI> sip show peers
Name/username      Host              Dyn Nat ACL Port   Status
24/24              (Unspecified)    D      0     0     UNKNOWN
23/23              (Unspecified)    D      0     0     UNKNOWN
22/22              (Unspecified)    D      0     0     UNKNOWN
21/21              192.168.1.12     D      0     5060  OK (1 ms)
20/20              201.240.117.211 D      N     23776 OK (300 ms)
S sip peers [Monitored: 2 online, 3 offline Unmonitored: 0 online, 0 offline]
*CLI>
*CLI> -- Executing [21@sip:1] Dial("SIP/20-081e0b08", "SIP/21|30|Ttm") in new stack
-- Called 21
-- Started music on hold, class 'default', on SIP/20-081e0b08
-- SIP/21-081e6970 is ringing
-- SIP/21-081e6970 answered SIP/20-081e0b08
-- Stopped music on hold on SIP/20-081e0b08
== Spawn extension (sip, 21, 1) exited non-zero on 'SIP/20-081e0b08'
  
```

Figura 4.9. Captura de pantalla de consola Asterisk

Como podemos observar en la captura de imagen, se encuentran dos usuarios registrados:

- El usuario con el número 20 con IP: 201.240.117.211 (Usuario externo)
- El usuario con el número 21 con IP: 192.168.1.12 (Usuario interno)

Luego se inicia el establecimiento de una llamada entre los dos locales, utilizando el códec que se propone en el diseño (G.726) y la función de detección de actividad de voz (V.A.D). La figura 4.10 nos muestra el terminal externo (# de marcación 20) registrado y estableciendo una llamada con el terminal interno (# de marcación 21).

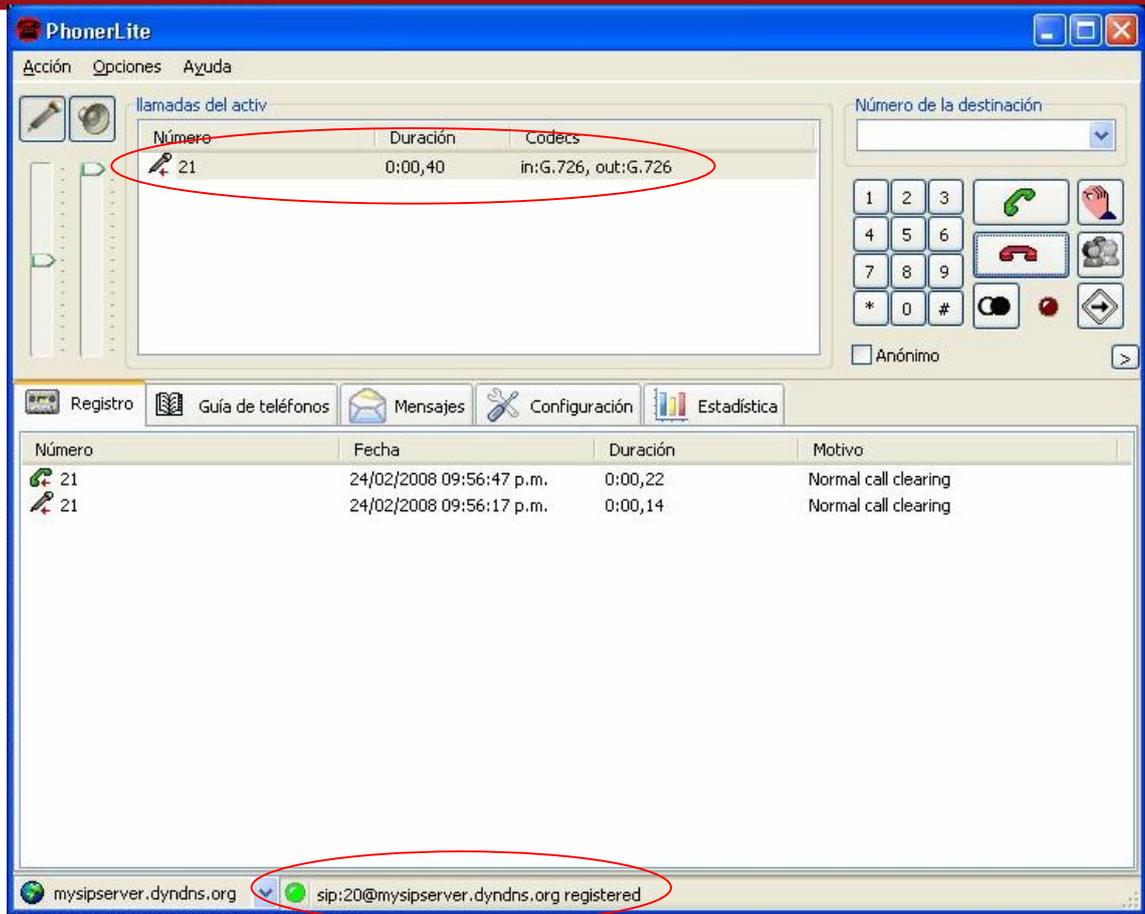


Figura 4.10. Terminal estableciendo una llamada

## Resultados

Como podemos notar en la figura 4.10 se logró establecer comunicación entre locales ubicados en redes distintas. Lo cual verifica que el código fuente programado (adjunto en el ANEXO 4) permite la operación de la red VoIP de manera correcta.

### 4.4.3. Prueba de consumo de Ancho de Banda

#### Objetivo

Verificar que el valor de ancho de banda calculado teóricamente en la sección 4.1, se cumple en la implementación práctica.

### Descripción de la prueba

Para realizar la prueba de consumo de ancho de banda y también las siguientes pruebas (capacidad del servidor y capacidad del router) se construye el siguiente escenario.

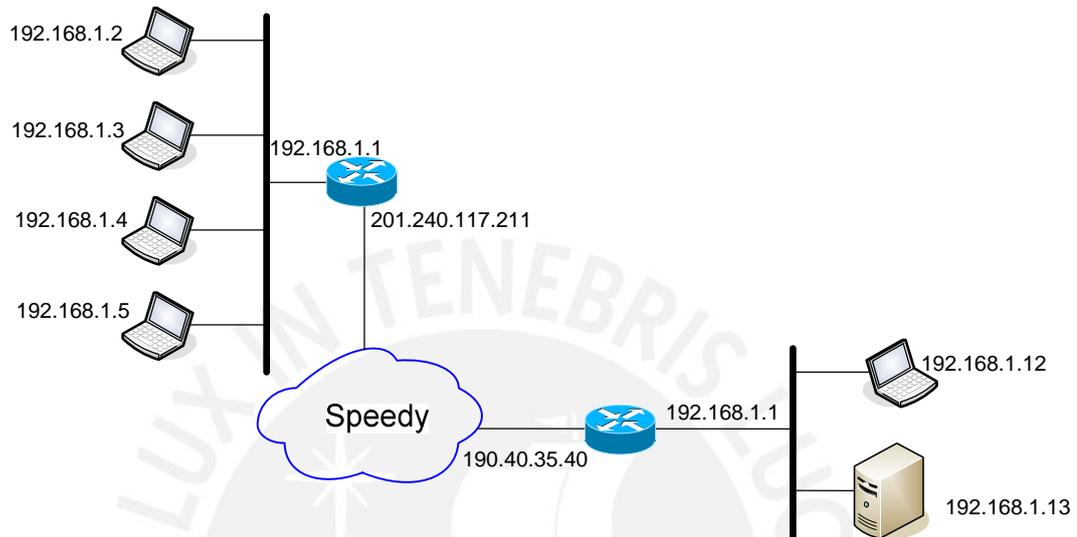


Figura 4.11 Escenario de pruebas

Esta prueba se realizará ubicando 4 terminales externos, ubicados en una red diferente a la red donde se encuentra el servidor. Estos 4 terminales establecerán comunicación con el servidor de manera simultánea para medir el ancho de banda cuando se tiene la carga máxima, que es la que se presenta en la hora de mayor tráfico.

La figura 4.12 muestra la consola de asterisk con las direcciones IP y la numeración asignada para llamadas de los usuarios externos registrados.

```

Asterisk Console on 'linux' (pid 9131) - Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help

== Manager registered action SIPpeers
== Manager registered action SIPshowpeer
chan_sip.so => (Session Initiation Protocol (SIP))
Asterisk Ready.
*CLI> [Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '24' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
[Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '23' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
[Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '22' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
[Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '21' is now Reachable. (1ms / 2000ms)

*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Nat ACL Port    Status
Z4/Z4              201.240.117.211    D  N   5060   OK (1 ms)
Z3/Z3              201.240.117.211    D  N   5060   OK (1 ms)
Z2/Z2              201.240.117.211    D  N   5060   OK (1 ms)
Z1/Z1              201.240.117.211    D  N   5060   OK (1 ms)
Z0/Z0              (Unspecified)      D    0     UNKNOWN
5 sip peers [Monitored: 4 online, 1 offline Unmonitored: 0 online, 0 offline]
*CLI> -- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/21-081e1678", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/21-081e1678", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!
-- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/22-081eb190", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/22-081eb190", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!
-- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/23-081f50e8", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/23-081f50e8", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!
-- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/24-081e00e8", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/24-081e00e8", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!

```

Figura 4.12. Captura de la consola de Asterisk

Como podemos apreciar, se encuentran registrados 4 terminales registrados en la red externa al servidor, los cuales se empiezan a comunicar uno a uno con el servidor para establecer una llamada.

De forma paralela, haciendo uso del cliente SNMP se toma las muestras del ancho de banda consumido en el router del local principal, que viene a ser en este caso el ancho de banda de la red, ya que no se encuentra ejecutando otro proceso paralelo que consuma ancho de banda.

En la figura 4.13 podemos observar la captura del ancho de banda consumido por estas 4 llamadas simultáneas.

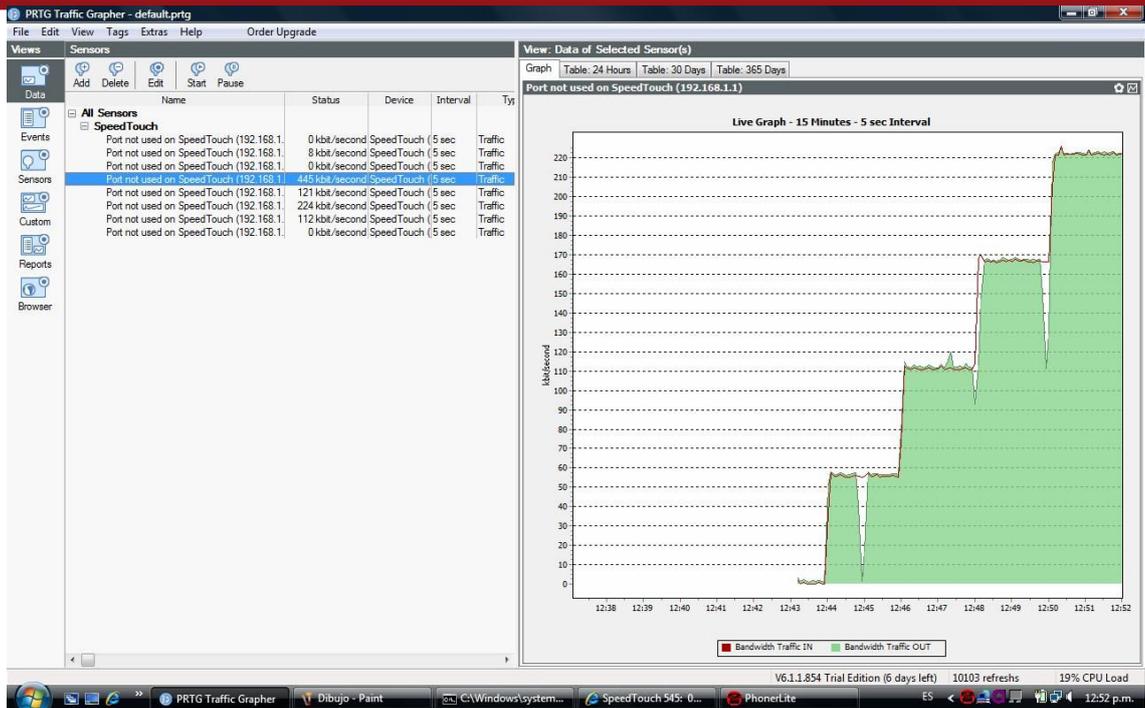


Figura 4.13. Captura del ancho de banda de 4 llamadas simultáneas.

## Resultados

En la sección 4.1 se determinó que el flujo de llamadas en la hora de mayor tráfico era de 0.648 erlangs, para lo cual se necesitaba 4 líneas telefónicas y éstas utilizando el códec G.726 consumen un ancho de banda de 220.8 kbps. De la figura 4.13 mostrada, podemos notar que el consumo de ancho de banda real para la red diseñada sin utilizar VAD es un valor ligeramente mayor de 220 kbps lo cual *verifica* que el ancho de banda calculado teóricamente para atender la hora de mayor tráfico generado en la red VoIP, se cumple de manera práctica en la implementación.

### 4.4.4. Prueba de capacidad del servidor VoIP

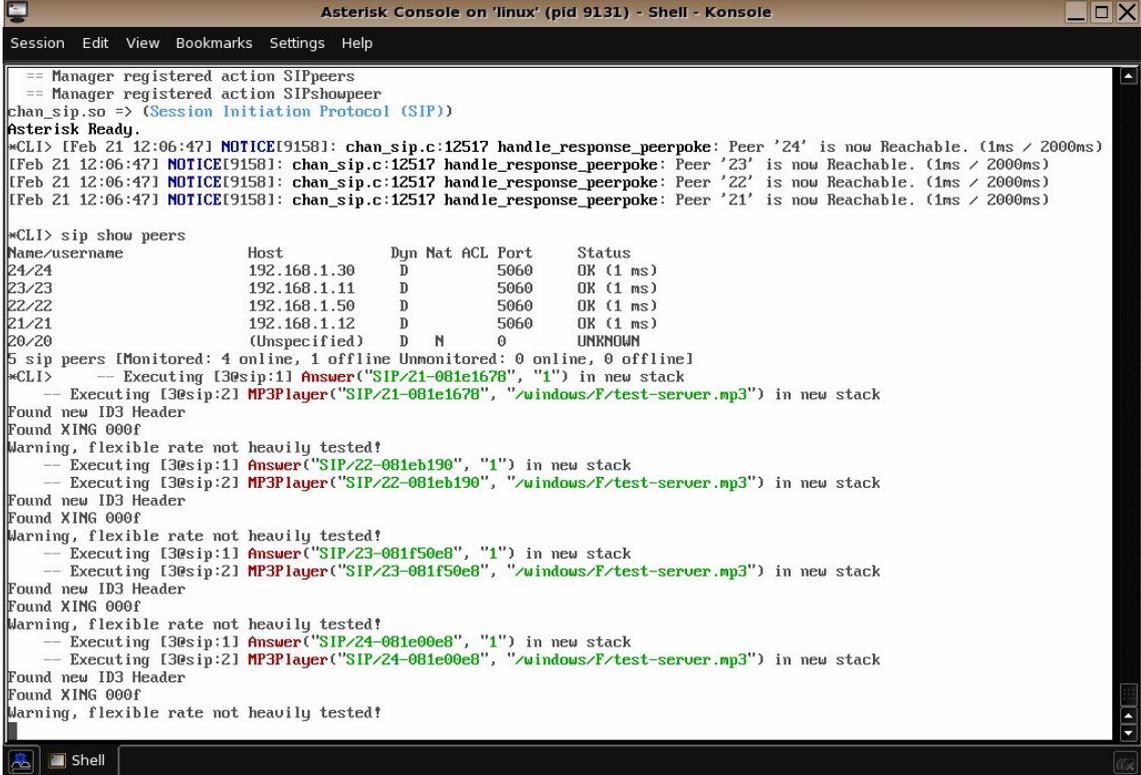
#### Objetivos

El propósito de estas pruebas es verificar que el servidor recomendado en la sección 4.2.1 no presente problemas de falta de memoria o congestión en el uso de CPU.

## Descripción de la prueba

En este caso también someteremos al servidor a su carga máxima a la que podría trabajar a la hora de mayor tráfico.

En la figura 4.14 observamos una captura de la consola de Asterisk en la cual se muestran los usuarios registrados (en este caso usuarios internos, debido a que es indiferente realizar la prueba con usuarios internos o externos si lo que se desea probar es la capacidad del servidor) estableciendo comunicación con el servidor.



```

Asterisk Console on 'linux' (pid 9131) - Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
== Manager registered action SIPpeers
== Manager registered action SIPshowpeer
chan_sip.so => (Session Initiation Protocol (SIP))
Asterisk Ready.
*CLI> [Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '24' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
[Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '23' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
[Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '22' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
[Feb 21 12:06:47] NOTICE[9158]: chan_sip.c:12517 handle_response_peerpoke: Peer '21' is now Reachable. (1ms / 2000ms)
*CLI> sip show peers
Name/username      Host              Dyn Nat ACL Port   Status
24/24              192.168.1.30     D          5060  OK (1 ms)
23/23              192.168.1.11     D          5060  OK (1 ms)
22/22              192.168.1.50     D          5060  OK (1 ms)
21/21              192.168.1.12     D          5060  OK (1 ms)
20/20              (Unspecified)   D N        0      UNKNOWN
5 sip peers [Monitored: 4 online, 1 offline Unmonitored: 0 online, 0 offline]
*CLI> -- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/21-081e1678", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/21-081e1678", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!
-- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/22-081eb190", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/22-081eb190", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!
-- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/23-081f50e8", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/23-081f50e8", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!
-- Executing [3@sip:1] Answer("SIP/24-081e00e8", "1") in new stack
-- Executing [3@sip:2] MP3Player("SIP/24-081e00e8", "/windows/F/test-server.mp3") in new stack
Found new ID3 Header
Found XING 000f
Warning, flexible rate not heavily tested!
  
```

Figura 4.14. Captura de imagen de la consola de Asterisk.

Para observar el rendimiento del procesador del servidor, utilizamos el comando *top* desde la consola de Linux. Con el uso de este comando podemos monitorear en tiempo real el consumo de CPU y memoria de cada proceso que se ejecuta en el servidor. En la figura 4.14 se muestra la captura del consumo de procesamiento en un instante dado.

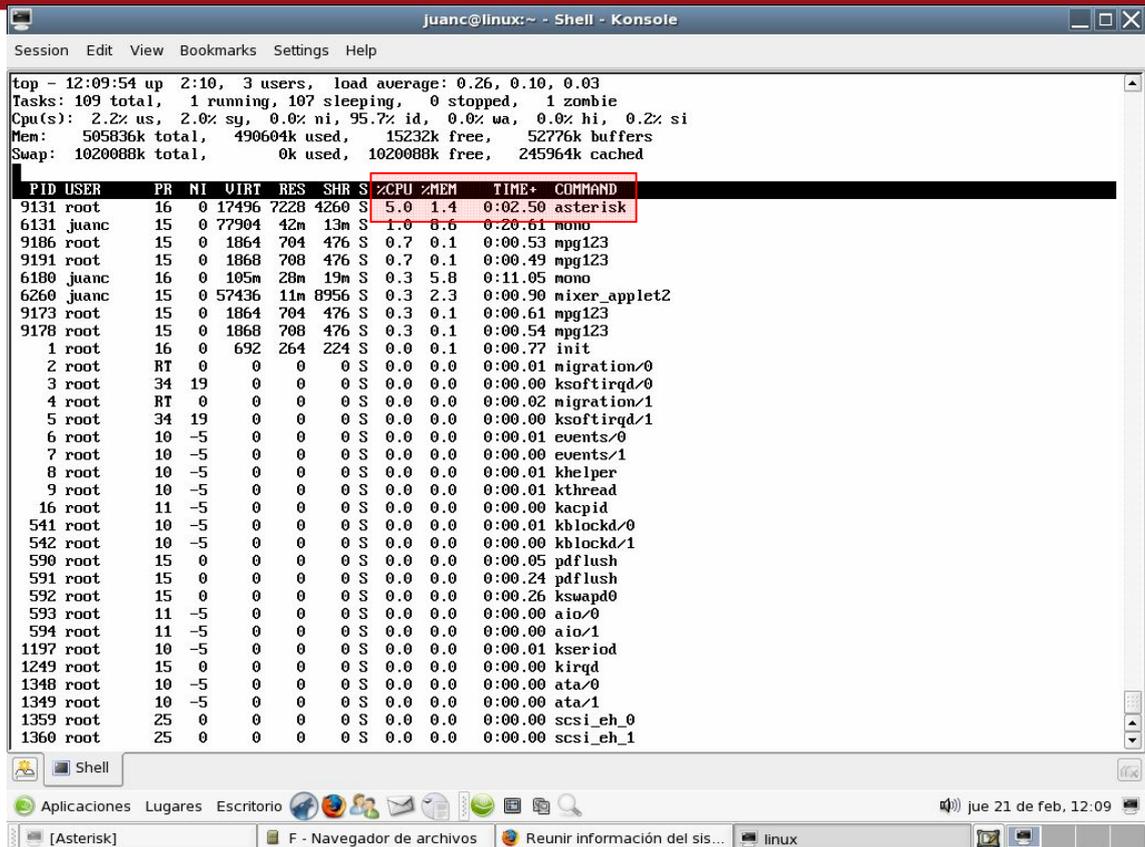


Figura 4.15. Monitoreo en tiempo real del uso de CPU por aplicaciones.

En la siguiente figura observaremos una imagen editada con la captura de algunas muestras tomadas solo para la aplicación que ejecuta el servicio de VoIP: Asterisk. Estas capturas son tomadas en distintos momentos para apreciar el uso promedio del CPU y memoria del servidor.

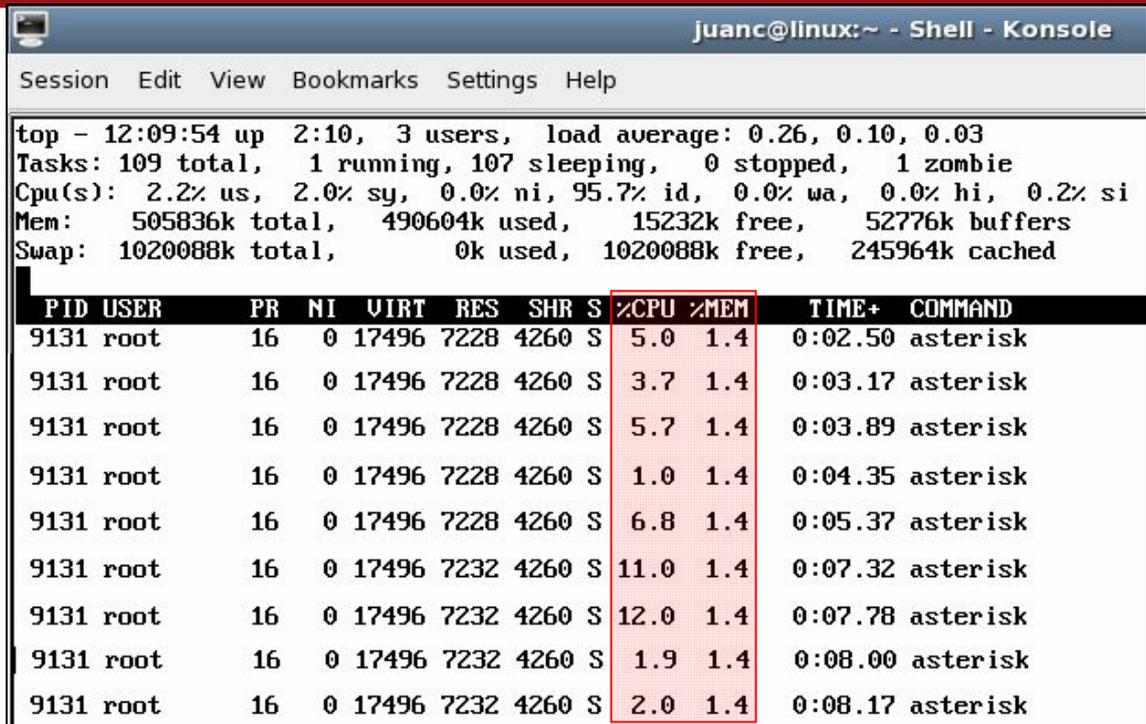


Figura 4.16. Muestras de consumo de CPU y memoria de la aplicación Asterisk.

### Resultados

Como podemos notar de la figura 4.16, el uso del CPU no es constante, teniendo algunos picos más bajos y algunos más altos, sin embargo el promedio del consumo de CPU es aproximadamente entre 5 a 6%, y el consumo de memoria sí es constante con un porcentaje de 1.4%.

Con estos valores podemos concluir que el servidor puede operar sin ningún problema con las 4 llamadas simultáneas que se realizan en la hora de mayor tráfico.

#### 4.4.5. Prueba de capacidad de los equipos de red

##### Objetivo

Verificar que no se genere congestión en el router con el tráfico de voz cargado.



## Resultados

Como podemos observar en la figura 4.17, el uso promedio del CPU del router no es constante y varía entre 2 a 4%, un procesamiento bastante bajo. Lo cual nos indica que no se generaría congestión en el CPU del router para conmutar los paquetes de voz de la red VoIP.

### 4.5. Análisis de Costos

En esta sección se elaborará el presupuesto para la implementación del diseño realizado. Los costos se pueden dividir en tres categorías principales: servicios, equipos y cableado, mano de obra.

Dado que los servicios se cobran mensualmente y depende del operador con el que se contraten solo se mencionarán y no se establecerán tarifas, por lo que no formará parte del presupuesto de solución

#### 4.5.1. Servicios

- 1 acceso a Internet a 256 kbps o más efectivo (o equivalente en tasa de velocidad asegurada) para el local principal
- 1 acceso a Internet a 64kbps o superior efectivo (o equivalente en tasa de velocidad asegurada) para cada oficina remota
- 4 líneas telefónicas (troncales) en el local principal.
- 1 línea telefónica para cada oficina remota

Cabe resaltar que actualmente se cuenta con estos servicios en los locales principal y remotos, por lo que estos costos no serán incluidos en el presupuesto.

#### 4.5.2. Presupuesto

El presupuesto quedará compuesto por el valor de los equipos y la mano de obra. El costo de ingeniería se detalla a continuación tomando como criterio el número de días trabajados. El costo de la mano de obra de ingeniería será de \$20 por día laborado.

Acciones	Días
Investigación preliminar	20
Estudio de campo	3
Diseño de la solución	10
Pruebas y resultados	2
Ajustes	1
Implementación	7
Configuración	2
<b>Total de días laborados</b>	<b>45</b>

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.14. Calendario de Actividades

A continuación se detalla el presupuesto final.

Item	Descripción	Unid.	P. Unit.	Sub-Total
<b>Equipos y Cableado</b>				
1	Teléfono IP Grandstream GXP – 2000	10	\$ 100	\$1000
2	Adaptador de Teléfono Analógico Grandstream HT-488	2	\$ 67.95	\$135.9
3	Gateway de Voz + Router QoS Patton Smartnode 4520	1	\$ 495	\$495
4	Switch de 24 puertos Linksys SFE2000	1	\$250	\$250
5	Rollo de 305m cable UTP flexible categoría 5e Belkin	1	\$133.45	\$133.45
6	Conectores RJ-45	80	\$0.3	\$24
<b>Mano de Obra</b>				
6	Cableado Estructurado e Instalación			\$100
7	Ingeniería: Diseño y configuraciones			\$900
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 3038,35</b>

Fuente: Precios de mercado

Cuadro 4.15. Presupuesto del Diseño

#### 4.5.3. Rentabilidad del proyecto

Finalmente se calcula el tiempo aproximado de recuperación de la inversión y la estimación del ahorro de los costos. Se estima que los costos ahorrados mensualmente serán los siguientes:

##### Líneas telefónicas anuladas:

Renta mensual por línea: S/.47.06 + I.G.V. (19%) = S/.56 ≈ \$20

##### Llamadas entre locales estimada

Se tiene que el consumo mensual<sup>12</sup> es de S/.550 aproximadamente para las llamadas locales. Como no se tiene exactamente que cantidad de este consumo es por llamadas realizadas entre los locales de la empresa, utilizamos un cálculo de proporciones para estimar cuánto de este consumo es destinado a llamadas entre locales:

Número de empleados local principal: 10

Número de empleados en locales remoto: 2

# de llamadas cursados entre empleados =  $2/10 = 20\%$

Por lo tanto, tenemos que el consumo estimado para llamadas entre locales es de  $20\% \times S/.450 = S/.90 \approx \$30$

Ahorro de 2 líneas telefónicas	:	\$40
Ahorro de llamadas entre locales	:	\$30
<b>Ahorro mensual</b>	:	<b>\$70</b>

Por lo tanto el tiempo de retorno de la inversión será aproximadamente:

Tiempo de retorno =  $3038.35 \text{ dólares} / (70 \text{ dólares/mes}) = 43.4 \text{ meses}$

**Tiempo de retorno = 3 años y 7 meses.**

<sup>12</sup> Extraído de la información recogida de los recibos telefónicos

## CONCLUSIONES

- Se estableció que para atender el flujo de llamadas que se realiza en el local principal en la hora de mayor tráfico se necesitan cuatro líneas telefónicas, las cuales generan un tráfico total de 0.648 erlangs.
- Se logró establecer comunicación entre el local principal y una oficina sucursal utilizando las redes de banda ancha disponibles en ambas oficinas, con lo cual se logra el objetivo principal de comunicar a costo cero los locales de la empresa.
- Se verifica el dimensionamiento de la red realizado teóricamente, mediante las pruebas de medición de ancho de banda realizadas en la sección 4.4.3
- El ancho de banda necesario para atender el máximo número de llamadas (cuatro simultáneas) es de 220,8 kbps sin utilizar la función de VAD y 143,52 kbps utilizando VAD, para el local principal. Mientras que para los locales remotos, el ancho de banda necesario es de 55.2 kbps sin utilizar la función de VAD y 35.88 utilizando VAD.
- Se verifica mediante las pruebas de capacidad del servidor realizadas en la sección 4.4.4 que el hardware para el servidor propuesto en el diseño es capaz de procesar el máximo número de llamadas en la hora de mayor de tráfico. Los valores obtenidos experimentalmente son de 5 a 6% del uso del CPU y 1.4% de uso de la memoria RAM del servidor.
- Se verifica mediante las pruebas de capacidad de los equipos de red, que el router soporta sin congestión la conmutación de los paquetes de voz, dejando libre un alto porcentaje del uso de CPU para la conmutación de paquetes de datos. Los valores obtenidos experimentalmente varían entre 2 a 4% del uso del CPU del router para los paquetes de voz.

- Con la implementación del diseño se prescinde del uso de la centralita PBX la cual tiene funciones limitadas exclusivamente a la conmutación de llamadas de líneas analógicas. La centralita será reemplazada por un servidor de registro de usuarios SIP el cual cumple la función de señalar las llamadas entre usuarios de la red IP y la Red Telefónica Pública -con la ayuda del gateway de voz si es necesario- para lograr establecer una comunicación.



## RECOMENDACIONES

- Para obtener mayores ventajas en funcionalidades y recepción de llamadas, se sugiere implementar una centralita IP-PBX en lugar del servidor SIP utilizado solo para el registro de usuarios. Dicha centralita puede seguir funcionando bajo el mismo software Asterisk, para lo cual se requerirá mayor nivel de programación para realizar funciones específicas como puede ser un sistema IVR (Interactive Voice Response) para derivar las llamadas entrantes según los anexos, con lo cual ya no es necesario tener un personal que conteste las llamadas y las derive a quien corresponde.
- Si la empresa desarrolla planes de expansión, se recomienda contratar una red corporativa (intranet) para mantener la comunicación entre locales, con lo cual se mejora considerablemente el ancho de banda de la red, en comparación con una conexión de banda ancha compartida.
- Para lograr una calidad de voz superior, se recomienda usar el codec G.711 el cual nos da una gran fidelidad de audio a costa de un ancho de banda mayor. Si se contrata una red corporativa, las limitaciones de ancho de banda prácticamente desaparecen con lo cual se recomienda migrar a este codec.
- Si se incrementan los recursos humanos en la empresa, se sugiere migrar de la telefonía analógica a la digital, arrendando una línea RDSI PRI/T1 con 30 canales de voz, lo cual traería mayor beneficio que seguir rentando más líneas analógicas, tanto en infraestructura como en costos. Al migrar a líneas digitales, se deberá cambiar el gateway analógico por uno digital o por una tarjeta PCI con un puerto PRI/T1 para ser instalado en el servidor utilizado para la centralita IP/PBX.

- Tener en cuenta las medidas de seguridad eléctrica para el sistema instalado, tanto para garantizar el funcionamiento ininterrumpido de la Red de Voz, como para proteger los equipos y al personal de posibles fallas eléctricas.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] ALCÓCER GARCÍA, Carlos  
2000 Redes de Computadoras. 2nd Edición.  
Lima: Infolink.
- [2] AT&T  
2005 Internet Protocol. *Mundo Contact*. [consultado 2006/05/10].  
<<http://www.mundo-contact.com/revistas/mundocontact/ip/att.htm>>
- [3] BAYER, Michael  
2001 Computer telephony designed: putting CTI, media services, and  
IP telephony to work  
New York: McGraw-Hill
- [4] BERLUCCI, James  
2004 Telefonía por Internet: un éxito al fin. *PC World*. Junio [consultado  
2006/04/20].  
<<http://www.pcwla.com/pcwla2.nsf/0/D03329A7A101E9DF00256EA100761DC5?OpenDocument&Highlight=VOIP>>
- [5] CHEE CUCALON, Christian  
2003 Diseño de una red de voz sobre IP para una empresa operadora que  
brinda servicios de larga distancia nacional e internacional. Tesis (Ing.).  
Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e  
Ingeniería. Lima. 206 p.

- [6] CISCO SYSTEM, INC.  
2001 Cisco Technical Solution Series: IP Telephony Solution Guide  
San Jose, CA: Cisco Press.
- [7] CISCO SYSTEM, INC.  
2004 Guía del primer año: CCNA 1 y 2  
San Jose, CA: Cisco Press.
- [8] CISCO SYSTEM, INC.  
2004 Guía del segundo año: CCNA 3 y 4  
San Jose, CA: Cisco Press.
- [9] CISCO SYSTEM  
2001 Traffic Analysis for Voice over IP. (White Paper)  
San Jose, CA. USA
- [10] COTRADO SEHGELMEBLE, Yuri.  
2001 Diseño de una red de voz y su integración con la red de datos de una universidad. Tesis (Ing.). Pontificia Universidad Católica del Perú.  
Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima. 98 p.
- [11] DAVISON, Jonathan y PETERS, James  
2001 Fundamentos de Voz sobre IP  
Madrid: Pearson Educación.
- [12] ENCICLOPEDIA ELECTRONICA WIKIPEDIA  
<<http://es.wikipedia.org>>
- [13] FAUNDEZ, Marcos  
1999 H.323 estándar de sistemas de comunicaciones multimedia sobre redes basadas en paquetes [consultado 2006/04/20].  
Mundo electrónica N° 297. Pag 40 – 44
- [14] FERNÁNDEZ PILCO, Percy  
2006 Apuntes de clases del curso Sistemas de Comunicaciones.  
Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú.

- [15] FOROUZAN, Behrouz  
2003 TCP/IP Protocol Suite. 2nd Edition  
Boston: McGraw-Hill.
- [16] GORALSKI, Walter y KOLON, Matthew C.  
1999 IP Telephony  
Masachusset: Mc-Graw Hill
- [17] GROSS, Grant  
2004 Voice over IP Rules May Loosen. *PC World*. Julio [consultado 2006/04/20].  
<<http://www.pcworld.com/news/article/0,aid,117044,00.asp>>
- [18] HUAPAYA CAMACHO, Juan Ángel  
2005 Apuntes de clases del curso Teoría de Comunicaciones 2.  
Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [19] IMAN NIZAMA, Karin  
2003 Diseño de una red de telefonía de voz sobre IP (Protocolo de Internet) para una empresa portadora. Tesis (Ing.). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima. 98 p.
- [20] ITU-T  
2003 Informe sobre el Desarrollo Mundial de las Telecomunicaciones 2003  
Ginebra, Suiza.
- [21] JHONSTON, Alan.  
2001 SIP: Understanding the Session Initial Protocol  
Madrid: Artech House
- [22] KAZA, Ramesh  
2005 Cisco IP Telephony: planning, design implementation, operation and optimization.  
Madrid: Cisco Press.

- [23] KREAGY, Scott  
2000 Integrating Voice and Data Network  
New York: Cisco Press
- [24] KUMAR, Vineet  
2001 IP telephony with H.323: architectures for unified networks and integrated services  
New York: Wiley
- [25] LLEW FLYNN, W. y SAMUELS, Gary.  
2005 Como generar un auténtico valor con Centros de Contactos IP. *Mundo Contact*. [consultado 2006/05/10].  
<<http://www.mundo-contact.com/revistas/mundocontact/ip/valorip.htm>>
- [26] LOAYZA MEJIA, Ernesto.  
2001 Diseño de una red de voz en redes IP y Frame Relay. Tesis (Ing.). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima. 93 p.
- [27] MINOLI, Daniel  
2001 Delivering Voice over IP Networks, 2nd Edition  
California: John Wiley & Sons.
- [28] OHRTMAN, Frank  
2003 Softswitch: architecture for VoIP  
Madrid: McGraw-Hill
- [29] OSIPTEL  
2007 Compendio de Estadísticas de los Mercados de Servicios Públicos de Telecomunicaciones en el Perú al 2006.  
Lima-Perú
- [30] RAMOS ARBULU, Javier  
1999 Evolución de la arquitectura de red de IP [consultado 2006/04/21].  
Mundo Electrónica N° 296. Pag 44-50

- [31] RODRIGUEZ RAMOS, Zarella  
2006 Diagnóstico y diseño de una red de comunicaciones para el hospital Santa Rosa de Madre de Dios. Tesis (Ing.). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima 107 p.
- [32] TELETRONICS INTERNACIONAL INC.  
2004 Enterprise SIP Server v.1.1
- [33] TOMASI, Wayne  
2003 Sistemas de Telecomunicaciones Electrónicas. 4ta Ed.  
México: Pearson Educación
- [34] VAN MEGGELEN, Jim et al.  
2007 Asterisk™: The Future of Telephony. 2<sup>nd</sup> Edition.  
USA: O'Reilly Media, Inc.
- [35] VOIP FORO  
<<http://www.voipforo.org>>
- [36] VOIP INFO FORUM  
< <http://voip-info.org>>



ANEXO 1  
HOJAS TECNICAS



## ANEXO 2

### RFC (REQUEST FOR COMMENTS)

A continuación se muestran los contenidos de los RFCs utilizados para el desarrollo de la tesis:

#### **RFC 4749: RTP PAYLOAD FORMAT FOR THE G.729.1 AUDIO CODEC**

Network Working Group  
Request for Comments: 4749  
Category: Standards Track

A. Sollaud  
France Telecom  
October 2006

RTP Payload Format for the G.729.1 Audio Codec

Status of this Memo

This document specifies an Internet standards track protocol for the Internet community, and requests discussion and suggestions for improvements. Please refer to the current edition of the "Internet Official Protocol Standards" (STD 1) for the standardization state and status of this protocol. Distribution of this memo is unlimited.

Copyright Notice

Copyright (C) The Internet Society (2006).

Abstract

This document specifies a Real-time Transport Protocol (RTP) payload format to be used for the International Telecommunication Union (ITU-T) G.729.1 audio codec. A media type registration is included for this payload format.

Table of Contents

1. Introduction
2. Background
3. Embedded Bit Rates Considerations
4. RTP Header Usage
5. Payload Format
  - 5.1. Payload Structure
  - 5.2. Payload Header: MBS Field
  - 5.3. Payload Header: FT Field
  - 5.4. Audio Data
6. Payload Format Parameters
  - 6.1. Media Type Registration
  - 6.2. Mapping to SDP Parameters
    - 6.2.1. Offer-Answer Model Considerations
    - 6.2.2. Declarative SDP Considerations
7. Congestion Control
8. Security Considerations
9. IANA Considerations

- 10. References
  - 10.1. Normative References
  - 10.2. Informative References

## **RFC 3849: STUN – SIMPLE TRAVERSAL OF USER DATAGRAM PROTOCOL (UDP) THROUGH NETWORK ADDRESS TRANSLATORS (NATs)**

Network Working Group J. Rosenberg  
 Request for Comments: 3489 J. Weinberger  
 Category: Standards Track dynamicsoft  
 C. Huitema  
 Microsoft  
 R. Mahy  
 Cisco  
 March 2003

STUN - Simple Traversal of User Datagram Protocol (UDP)  
 Through Network Address Translators (NATs)

Status of this Memo

This document specifies an Internet standards track protocol for the Internet community, and requests discussion and suggestions for improvements. Please refer to the current edition of the "Internet Official Protocol Standards" (STD 1) for the standardization state and status of this protocol. Distribution of this memo is unlimited.

Copyright Notice

Copyright (C) The Internet Society (2003). All Rights Reserved.

Abstract

Simple Traversal of User Datagram Protocol (UDP) Through Network Address Translators (NATs) (STUN) is a lightweight protocol that allows applications to discover the presence and types of NATs and firewalls between them and the public Internet. It also provides the ability for applications to determine the public Internet Protocol (IP) addresses allocated to them by the NAT. STUN works with many existing NATs, and does not require any special behavior from them. As a result, it allows a wide variety of applications to work through existing NAT infrastructure.

Table of Contents

1. Applicability Statement
2. Introduction
3. Terminology
4. Definitions
5. NAT Variations
6. Overview of Operation
7. Message Overview
8. Server Behavior
  - 8.1 Binding Requests  
 Rosenberg, et al. Standards Track [Page 1]  
 RFC 3489 STUN March 2003
  - 8.2 Shared Secret Requests
9. Client Behavior
  - 9.1 Discovery
  - 9.2 Obtaining a Shared Secret
  - 9.3 Formulating the Binding Request
  - 9.4 Processing Binding Responses
10. Use Cases
  - 10.1 Discovery Process
  - 10.2 Binding Lifetime Discovery
  - 10.3 Binding Acquisition
11. Protocol Details
  - 11.1 Message Header
  - 11.2 Message Attributes
    - 11.2.1 MAPPED-ADDRESS
    - 11.2.2 RESPONSE-ADDRESS

- 11.2.3 CHANGED-ADDRESS
- 11.2.4 CHANGE-REQUEST
- 11.2.5 SOURCE-ADDRESS
- 11.2.6 USERNAME
- 11.2.7 PASSWORD
- 11.2.8 MESSAGE-INTEGRITY
- 11.2.9 ERROR-CODE
- 11.2.10 UNKNOWN-ATTRIBUTES
- 11.2.11 REFLECTED-FROM
- 12. Security Considerations
  - 12.1 Attacks on STUN
    - 12.1.1 Attack I: DDOS Against a Target
    - 12.1.2 Attack II: Silencing a Client
    - 12.1.3 Attack III: Assuming the Identity of a Client
    - 12.1.4 Attack IV: Eavesdropping
  - 12.2 Launching the Attacks
    - 12.2.1 Approach I: Compromise a Legitimate STUN Server
    - 12.2.2 Approach II: DNS Attacks
    - 12.2.3 Approach III: Rogue Router or NAT
    - 12.2.4 Approach IV: MITM
    - 12.2.5 Approach V: Response Injection Plus DoS
    - 12.2.6 Approach VI: Duplication
  - 12.3 Countermeasures
  - 12.4 Residual Threats
- 13. IANA Considerations
- 14. IAB Considerations
  - 14.1 Problem Definition
  - 14.2 Exit Strategy
  - 14.3 Brittleness Introduced by STUN
  - 14.4 Requirements for a Long Term Solution
  - 14.5 Issues with Existing NAPT Boxes
  - 14.6 In Closing
- Rosenberg, et al. Standards Track [Page 2]
- RFC 3489 STUN March 2003
- 15. Acknowledgments
- 16. Normative References
- 17. Informative References
- 18. Authors' Addresses
- 19. Full Copyright Statement

## **RFC 4123: SESSION INITIATION PROTOCOL (SIP) – H.323 INTERNETWORKING REQUIREMENTS**

Network Working Group H. Schulzrinne  
 Request for Comments: 4123 Columbia University  
 Category: Informational C. Agboh  
 July 2005

Session Initiation Protocol (SIP)-H.323 Interworking Requirements  
 Status of this Memo

This memo provides information for the Internet community. It does not specify an Internet standard of any kind. Distribution of this memo is unlimited.

Copyright Notice

Copyright (C) The Internet Society (2005).

IESG Note

This RFC is not a candidate for any level of Internet Standard. The IETF disclaims any knowledge of the fitness of this RFC for any purpose, and in particular notes that the decision to publish is not based on IETF review for such things as security, congestion control, or inappropriate interaction with deployed protocols. The RFC Editor has chosen to publish this document at its discretion. Readers of this document should exercise caution in evaluating its value for implementation and deployment. See [RFC3932] for more information.

Abstract

This document describes the requirements for the logical entity known

as the Session Initiation Protocol (SIP)-H.323 Interworking Function (SIP-H.323 IWF) that will allow the interworking between SIP and H.323.

Schulzrinne & Agboh Informational [Page 1]

RFC 4123 SIP-H.323 Req. July 2005

Table of Contents

1. Introduction
2. Definitions
3. Functionality within the SIP-H.323 IWF
4. Pre-Call Requirements
  - 4.1. Registration with H.323 Gatekeeper
  - 4.2. Registration with SIP Server
5. General Interworking Requirements
  - 5.1. Basic Call Requirements
    - 5.1.1. General Requirements
    - 5.1.2. Address Resolution
    - 5.1.3. Call with H.323 Gatekeeper
    - 5.1.4. Call with SIP Registrar
    - 5.1.5. Capability Negotiation
    - 5.1.6. Opening of Logical Channels
  - 5.2. IWF H.323 Features
  - 5.3. Overlapped Sending
    - 5.3.1. DTMF Support
6. Transport
7. Mapping between SIP and H.323
  - 7.1. General Requirements
  - 7.2. H.225.0 and SIP Call Signaling
  - 7.3. Call Sequence
  - 7.4. State Machine Requirements
8. Security Considerations
9. Examples and Scenarios
  - 9.1. Introduction
  - 9.2. IWF Configurations
  - 9.3. Call Flows
    - 9.3.1. Call from H.323 Terminal to SIP UA
    - 9.3.2. Call from SIP UA to H.323 Terminal
10. Acknowledgments
11. Contributors
12. References
  - 12.1. Normative References
  - 12.2. Informative References

### ANEXO 3

#### PROTOCOLO DE INICIO DE SESION (SIP)

El Protocolo de Inicio de Sesión (SIP) es un protocolo de control de señalización de la capa de aplicación que se utiliza para establecer, mantener y terminar sesiones multimedia.

Las sesiones multimedia incluyen la telefonía por Internet, las conferencias y otras aplicaciones similares que proporcionan medios como audio, video y datos.

Se pueden utilizar invitaciones SIP para establecer sesiones y transportar descripciones de la sesión. SIP soporta sesiones unidifusión y multidifusión, así como llamadas punto a punto y multipunto. Las comunicaciones se pueden establecer y terminar utilizando estas cinco facetas de SIP: localización de usuario, capacidad de usuario, disponibilidad de usuario, configuración de la llamada y manejo de la llamada.

#### Visión General de SIP

Aquí se describe la funcionalidad básica y los elementos claves de SIP. Los dos componentes de un sistema SIP son los agentes de usuario y los servidores de red. Las partes que llaman y son llamadas se identifican con direcciones SIP; las partes necesitan localizar servidores y usuarios. Las transacciones SIP también se explican como parte de esta visión general.

#### Agentes de usuario

Los agentes de usuario son aplicaciones cliente de sistema final que contienen un cliente usuario-agente (UAC) y un servidor usuario-agente (UAS), también conocidos como cliente y servidor, respectivamente.

- Cliente. Inicia las peticiones SIP y actúa como el agente usuario del llamante
- Servidor. Recibe las peticiones y devuelve las respuestas en nombre del usuario; actúa como el agente de usuario llamado

### Servidores de Red

Existen dos tipos de servidores de red SIP: los servidores Proxy y los servidores redirect (de redirección).

- Servidores Proxy. Actúa en nombre de otros clientes y contiene funciones de cliente y de servidor. Un servidor Proxy interpreta y puede reescribir cabeceras de peticiones antes de pasarlas a los demás servidores. Rescribir las cabeceras identifica al Proxy como el iniciador de la petición y asegura que las respuestas siguen las mismas rutas de vuelta hasta el Proxy en lugar de hasta el cliente.
- Servidor de redirección. Acepta las peticiones SIP y envía una respuesta redirigida al cliente que contiene la dirección del siguiente servidor. Los servidores de redirección no aceptan llamadas ni tampoco procesan o reenvían peticiones SIP.

### Direccionamiento

Las direcciones SIP, también llamadas localizadores universales de recursos (URL) SIP, existen en la forma de usuarios@hosts. Similar a una dirección de correo electrónico, un URL SIP se identifica por usuario@host. La parte de usuario de la dirección puede ser un nombre de usuario o un número de teléfono, y la parte de host puede ser un nombre de dominio o una dirección de red. Ejemplos:

- [prueba@voip.com](mailto:prueba@voip.com)
- [4022@200.200.200.2](tel:4022@200.200.200.2)

### Localización de un servidor

Un cliente puede enviar una petición SIP directamente a un servidor Proxy configurado localmente, o bien a la dirección IP y puerto del correspondiente URL SIP. Enviar una petición SIP es relativamente fácil, ya que la aplicación de sistema final conoce al servidor Proxy. Enviar una petición SIP de la segunda manera es algo más complicado por las siguientes razones:

- El cliente debe determinar la dirección IP y el número de puerto del servidor al que va destinada la petición
- Si el número de puerto no está enumerado en el URL SIP, el puerto predeterminado es 5060.
- Si el tipo de protocolo no está numerado en el URL SIP pedido, el cliente debe primero intentar conectando el Protocolo de datagrama de usuario (UDP) o el Protocolo para el control de la transmisión (TCP).

- El cliente consulta el servidor de Sistema de denominación de dominio (DNS) para buscar la dirección IP del host. Si no encuentra ningún registro de dirección, el cliente es incapaz de localizar al servidor y no puede continuar con la petición.

### **Transacciones SIP**

Cuando se ha resuelto el tema de la dirección, el cliente envía una o más peticiones SIP y recibe una o más respuestas asociadas con esa actividad están consideradas como parte de una transacción SIP. Para una mayor simplicidad y coherencia, los campos de cabecera en todos los mensajes de petición coinciden con los campos de cabeceras en todos los mensajes de respuesta. Se pueden transmitir transacciones SIP en los protocolos UDP y TCP. En el caso de TCP, se pueden transportar todos los mensajes de petición y respuesta relacionados con una única transacción SIP sobre la misma conexión TCP. También se pueden transportar transacciones SIP separadas entre las dos entidades sobre la misma conexión TCP. Si se utiliza UDP, la respuesta se envía a la dirección identificada en el campo de cabecera de la petición.

### **Localización de un usuario**

La parte llamada puede desplazarse desde uno a varios sistemas finales a lo largo del tiempo. Puede moverse desde la red de área local (LAN) corporativa, a una oficina en casa conecada a través de su proveedor de servicios de Internet (ISP) o a una conexión pública Internet mientras atiende a una conferencia. Por tanto, para los servicios de localización, SIP necesita acomodarse a la flexibilidad y la movilidad de los sistemas finales IP. Las localizaciones de estos sistemas finales pueden estar registradas con el servidor SIP o con otros servidores de localización fuera del ámbito de SIP. En este último caso, el servidor SIP almacena la lista de localizaciones basadas en el servidor de localización exterior que está devolviendo múltiples posibilidades de host.

La acción y resultado de localizar a un usuario depende del tipo de servidor SIP que se esté utilizando. Un servidor de redirección simplemente devuelve la lista completa de localizaciones y permite que el cliente localice directamente al usuario. Un servidor Proxy puede probar las direcciones en paralelo hasta que la llamada tenga éxito.

### **Mensajes SIP**

Existen dos tipos de mensajes SIP: peticiones iniciadas por los clientes y respuestas devueltas desde los servidores. Cada mensaje contiene una cabecera que describe los detalles de la comunicación. SIP es un protocolo basado en texto con una sintaxis de mensajes y campos de

cabecera idénticos al Protocolo de transferencia de hipertexto (http). Los mensajes SIP se envían sobre los protocolos UDP o TCP con múltiples mensajes transportados en una única conexión TCP o datagrama UDP.

### Cabeceras de mensaje

Las cabeceras de mensaje se utilizan para especificar la parte llamante, la parte llamada, la ruta y el tipo de mensaje de una llamada. Los cuatro grupos de cabecera de mensaje son los siguientes:

- Cabeceras generales. Se aplica a peticiones y a las respuestas
- Cabeceras de entidad. Define información sobre el tipo de cuerpo del mensaje y longitud.
- Cabeceras de petición. Permite que el cliente incluya información de petición adicional.
- Cabeceras de respuestas. Permite que el servidor incluya información de respuesta adicional.

Estos cuatro grupos principales de cabeceras, junto con las 37 cabeceras correspondientes se enumeran en la siguiente tabla:

Cabeceras generales	Cabeceras de entidad	Cabeceras de petición	Cabeceras de respuestas
Accept	Content-Encoding	Authorization	Allow
Accept-Encoding	Content-Length	Contact	Proxy-Authenticate
Accept-Language	Content-Type	Hide	Retry-After
Call-ID		Max-Forwards	Server
Contact		Organization	Unsupported
CSeq		Priority	Warning
Date		Proxy-Authorization	WWW-Authenticate
Encryption		Proxy-Require	
Expires		Route	
From		Require	
Record-Route		Response-Key	
Timestamp		Subject	
To		User-Agent	
Via			

### Peticiones de mensajes

La comunicación SIP presenta seis tipos de peticiones de mensajes. Estas peticiones, a las que también se hace referencia como métodos, permiten que los agentes de usuario y servidores de red localicen, inviten y administren llamadas. Las seis peticiones SIP son las siguientes:

- INVITE. Este método indica que el usuario o servicio es invitado a participar en una sesión. Incluye una descripción de sesión y, para llamadas de dos vías, la parte llamante indica el tipo de medio. Una respuesta con éxito a una invitación INVITE de dos partes (respuesta 200 OK) incluye el tipo de medios recibido por la parte llamada. Con este simple método, los usuarios pueden reconocer las posibilidades del otro extremo y abrir una sesión de conversación con un número limitado de mensajes de idas y vueltas.
- ACK. Estas peticiones corresponden a una petición INVITE. Representan la confirmación final por parte del sistema final y concluye la transacción iniciada por el comando INVITE. Si la parte llamante incluye una descripción de la sesión en la petición ACK, no se utilizarán más parámetros adicionales en la misma. Si no se incluye una descripción de la sesión, los parámetros de la sesión en la petición INVITE se utilizan como los predeterminados.
- OPTIONS. Este método permite consultar y reunir posibilidades de agentes de usuarios y servidores de red. Sin embargo, esta petición no se utiliza para establecer sesiones.
- BYE. Este método se utiliza por las partes que llaman y son llamadas para liberar una llamada. Antes de liberar realmente la llamada, el agente de usuario envía esta petición al servidor indicando el deseo de liberar la sesión.
- CANCEL. Esta petición permite que los agentes de usuario y servidores de red cancelen cualquier petición que esté en progreso. Esto no afecta a las peticiones terminadas en las que las respuestas finales ya fueron recibidas.
- REGISTER. Este método se utiliza por los clientes para registrar información de localización con los servidores SIP.

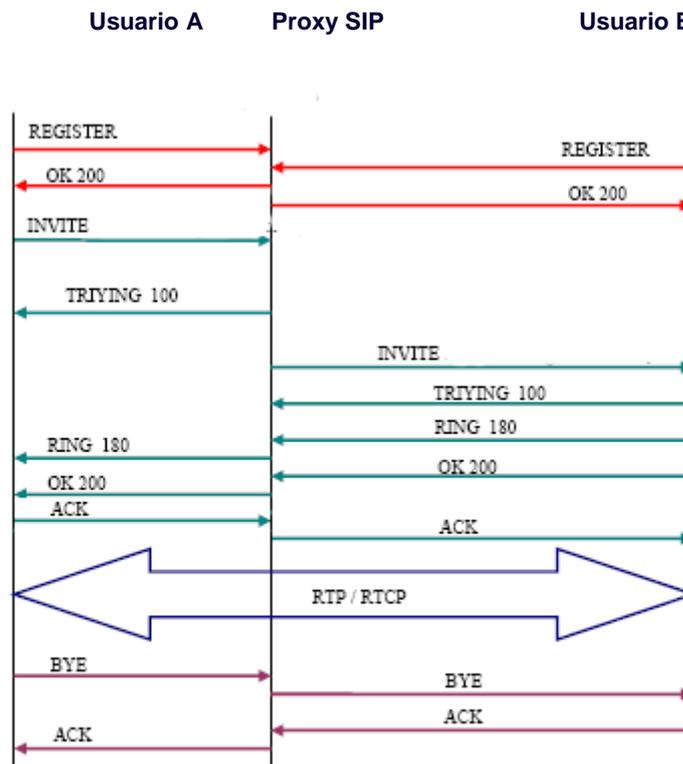
### Respuesta de mensajes

Las respuestas a los mensajes SIP están basadas en la recepción e interpretación de una petición correspondiente. Se envían como respuesta a una petición e indican si la llamada ha tenido éxito o ha fallado, incluido el estado del servidor. Las seis clases de respuestas, sus códigos de estado y explicaciones de lo que hacen se muestran en la tabla siguiente:

Clase de respuesta	Código de estado	Explicación
Informational	100	Intentando
	180	Sonando
	181	Llamada está siendo reenviada
	182	Puesta en cola
Success	200	OK
Redirect	300	Elección múltiple
	301	Movida permanente
	302	Movida temporalmente
	303	Véase otra
	305	Utilizar Proxy
	380	Servicio alternativo
Client-Error	400	Petición defectuosa
	401	No autorizado
	402	Se requiere pago
	403	Prohibido
	404	No encontrado
	405	Método no permitido
	406	No aceptable
	407	Se requiere autenticación de Proxy
	408	Se acaba tiempo de petición
	409	Conflicto
	410	Se ha marchado
	411	Se requiere longitud
	413	Entidad pedida demasiado larga
	414	URL pedido demasiado largo
	415	Tipo de medio no soportado
	420	Extensión errónea
	480	No disponible temporalmente
	481	Segmento de llamada o transacción no existe
	482	Detectado bucle
483	Demasiados saltos	
484	Dirección incompleta	
485	Ambiguo	
486	Ocupado	
Server-Error	500	Error interno de servidor
	501	Sin implementar
	502	Gateway erróneo
	503	Servicio no disponible
	504	Gateway fuera de tiempo
	505	Versión SIP no soportada
Global Failure	600	Ocupado en todas partes
	603	Rechazado
	604	No existe en ningún sitio
	606	No aceptable

### Ejemplo de establecimiento una llamada SIP

A continuación se analizará detalladamente una llamada. En una llamada SIP hay varias transacciones SIP. Una transacción SIP se realiza mediante un intercambio de mensajes entre un cliente y un servidor. Consta de varias peticiones y respuestas y para agruparlas en la misma transacción esta el parámetro CSeq.



- Las dos primeras transacciones corresponden al registro de los usuarios. Los usuarios deben registrarse para poder ser encontrados por otros usuarios. En este caso, los terminales envían una petición REGISTER, donde los campos from y to corresponden al usuario registrado. El servidor Proxy, que actúa como Register, consulta si el usuario puede ser autenticado y envía un mensaje de OK en caso positivo.
- La siguiente transacción corresponde a un establecimiento de sesión. Esta sesión consiste en una petición INVITE del usuario al proxy. Inmediatamente, el proxy envía un TRYING 100 para parar las retransmisiones y reenvía la petición al usuario B. El usuario B envía un Ringing 180 cuando el teléfono empieza a sonar y también es reenviado por el proxy hacia el usuario A. Por último, el OK 200 corresponde a aceptar la llamada (el usuario B descuelga).

- En este momento la llamada está establecida, pasa a funcionar el protocolo de transporte RTP con los parámetros (puertos, direcciones, codecs, etc.) establecidos en la negociación mediante el protocolo SDP.
- La última transacción corresponde a una finalización de sesión. Esta finalización se lleva a cabo con una única petición BYE enviada al Proxy, y posteriormente reenviada al usuario B. Este usuario contesta con un OK 200 para confirmar que se ha recibido el mensaje final correctamente.



ANEXO 4

CODIGO FUENTE DE CONFIGURACION ASTERISK



## ANEXO 5

### VOICE ACTIVITY DETECTION

El proceso de separar el habla y el silencio en una señal de voz es conocido como Detección de la Actividad de Voz (Voice Activity Detection, VAD). Este fue investigado por primera vez para su uso en sistemas de Interpolación de Voz de Tiempo Asignado (Time Assigned Speech Interpolation, TASI). VAD es una importante tecnología disponible para una variedad de aplicaciones de voz, incluyendo reconocimiento de la voz, codificación, y usos para sistemas de “manos libres” en teléfonos. Para estos propósitos, fueron propuestos diversos tipos de algoritmos VAD que involucra retardo, sensibilidad, exactitud y costo computacional.

La función principal de un VAD es indicar la presencia de voz, a favor de facilitar el procesamiento de la voz debe poseer si es posible un delimitador de inicio y fin de un segmento de voz.

#### Aplicaciones

- VAD es una parte integral de diferentes sistemas de comunicación de voz como la audio conferencia, cancelación de eco, reconocimiento de voz, codificación de voz y sistemas de manos libres telefónicos.
- En la mayoría de aplicaciones multimedia, VAD permite las aplicaciones simultáneas de voz y datos.
- Similarmente, en los Sistemas de Telecomunicaciones Universales Móviles (UMTS), este reduce la tasa promedio de bit y mejora la calidad de la codificación de la voz.
- En los sistemas de radio celular (sistemas GSM y CDMA por ejemplo) basados en transmisión de modo discontinuo (DTX), VAD es esencial para mejorar la capacidad del sistema, reduciendo interferencia de los canales adyacentes y también el consumo de energía en dispositivos digitales portátiles.

Para una amplia gama de aplicaciones como la comunicación de radio móvil digital, transmisión simultánea de Voz y Datos (Digital Simultaneous Voice and Data, DSVD) o almacenamiento simultáneo de voz, es recomendable que se proporcione una transmisión discontinua de los

parámetros de codificación de la voz. Las ventajas pueden ser un bajo consumo de energía en teléfonos móviles, una alta tasa de transferencia de bits para servicios de transmisión de datos o una mayor capacidad de almacenamiento en un chip.

Sin embargo, la mejora depende principalmente del porcentaje de pausas entre la conversación y la confiabilidad del VAD usado para detectar estos intervalos.

Por un lado es ventajoso tener un mayor porcentaje bajo de actividad de voz, por otro lado se debe reducir la pérdida del truncamiento de la actividad de voz al mínimo para preservar la calidad. Este es el gran reto para un algoritmo de VAD bajo condiciones críticas de ruido.

### **Descripción Técnica de VAD**

La función básica de un algoritmo VAD es extraer algunas características o cantidades medias de la señal de entrada y comparar estos valores con los umbrales, extraídos generalmente de las características de las señales de ruido y de voz, entonces se toma como voz activa si los valores medidos superan los umbrales.

VAD en ruido móvil requiere un valor de umbral que varía en el tiempo. Este valor se calcula generalmente en los segmentos de voz inactivos.

VAD es más crítico para los ambientes de ruido móviles, puesto que es necesario actualizar la estadística del ruido que varía constantemente, esto produce un error que afecta fuertemente al sistema.

Un sistema representativo de métodos de VAD recientemente publicado, formula la regla de la decisión en un marco por base del marco, usando las medidas instantáneas de la distancia de la divergencia entre la voz y el ruido.

VAD se puede descomponer en dos pasos:

- El cómputo de la métrica
- El uso de una regla de clasificación.

Independientemente del método de VAD utilizado, debemos comprometernos entre tener voz detectada como ruido o ruido detectado como voz. Un VAD que funciona en un ambiente móvil debe poder detectar actividad de voz en presencia de una serie diversa de tipos de ruido de fondo acústico. En estas condiciones difíciles de la detección, es fundamental que un VAD sea “a pruebas de averías” indicando la señal de voz cuando se tenga duda de la decisión para no producir ningún truncamiento. La dificultad más grande en este ambiente son las Relaciones Señal a Ruido (SNR) muy bajas que se encuentran. En este caso se hace imposible distinguir la voz del ruido utilizando técnicas sencillas.

## Evaluación del funcionamiento de VAD

El funcionamiento de VAD se puede medir en términos de actividad, y el grado y la severidad del truncamiento. Para evaluar la cantidad de truncamiento y cuantas veces el ruido se detecta como voz, la salida del VAD se compara con las de un VAD ideal. El funcionamiento de un VAD se evalúa en base a los cuatro parámetros tradicionales siguientes:

### FEC (Truncamiento del final delantero):

Truncamiento introducido en pasar de ruido a la actividad de voz

### MSC (Truncamiento medios de la señal de voz)

El truncamiento debido a la señal de voz clasificada erróneamente como ruido

### SOBRE

Ruido interpretado como voz, debido al activo restante de la bandera de VAD en pasar de actividad de voz al ruido.

### NDS (Ruido detectado como voz)

Ruido interpretado como voz dentro de un período de silencio

Aunque el método descrito arriba proporciona información objetiva útil referente al funcionamiento de un VAD, da solamente una estimación inicial con respecto al efecto subjetivo. Por ejemplo, los efectos del truncamiento de la señal de voz se pueden ocultar ocasionalmente por la presencia del ruido de fondo.

Es por lo tanto importante realizar pruebas subjetivas en los VAD, el objetivo principal de estas pruebas es asegurar de que el truncamiento percibido es aceptable. Esta clase de prueba requiere a algunos oyentes juzgar las grabaciones que contienen resultados del proceso de los VAD que son probados. Los oyentes deben dar evaluar con un rango de puntaje las siguientes características:

- Calidad
- Dificultad de la comprensión
- Audibilidad del truncamiento

Estos puntajes, obtenidos escuchando repetidas secuencias de la actividad de voz, se utilizan para calcular los resultados medios para cada una de las características mencionadas, proporcionando así una estimación global del comportamiento del VAD que es probado.

A manera de conclusión, mientras que los métodos objetivos son muy útiles en la etapa inicial para evaluar la calidad de un VAD, los métodos subjetivos son más significativos.