

**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**



Universidad Católica Andrés Bello

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones



**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través
de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

EFFECTUADO POR:

Daniel Prado

TUTOR

Ing. Wilfredo Torres

Caracas, 13 de Febrero de 2012

**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**



Universidad Católica Andrés Bello
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones



**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través
de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa **SERVIMECA, C.A.****

EFFECTUADO POR:

Daniel Prado

TUTOR

Ing. Wilfredo Torres

Caracas, 13 de Febrero de 2012

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA IP BASADO EN SOFTWARE LIBRE A TRAVÉS DE *SOFTSWITCH* CON PRIORIZACIÓN DE VOZ CASO EMPRESA SERVIMECA, C.A.

Prado, Daniel

dansarmiento@hotmail.com

El presente trabajo busca dar solución a la actual situación de SERVIMECA, C.A la cual factura grandes cantidades de dinero en llamadas, a través de una plataforma de telefonía IP cuyo objetivo principal es “Diseñar un Sistema de Telefonía IP basado en software libre para la interconexión de usuarios en las sedes de SERVIMECA C.A, optimizando el tráfico de voz con mecanismos de Calidad de Servicio” permitiendo reducir los costos manteniendo una calidad equivalente al sistema anterior y añadiendo nuevas características, lo que lo convierte en una excelente oportunidad de negocio bajo una buena administración. Esto se logrará desarrollando una metodología separada en 4 fases respondiendo a unos objetivos específicos, las cuales son las siguientes: Fase I: Investigación Documental y Levantamiento de Información, Fase II: Diseño, Fase III: Pruebas y Ajustes y Fase IV: Desarrollo de Propuesta. La plataforma está diseñada sobre la red de datos de la compañía, con un previo análisis de tráfico de llamadas para determinar un número de líneas externas al sistema y otro realizado para comprobar si cumple con unos requerimientos mínimos de hardware, optimizando el uso de los equipos. Entre los resultados mas destacados de éste estudio se encuentran las pruebas realizadas en los enlaces críticos de la compañía, en las cuales se verificó cómo, con mecanismos de calidad de servicio (*Quality of Service Qos*), se logra priorizar el tráfico de voz sobre datos bajo condiciones de congestionamiento.

Palabras Clave: Voz sobre IP, Calidad de Servicio, Software Libre.

INTRODUCCION

La telefonía IP es una nueva rama de las telecomunicaciones que en los últimos años se ha vuelto cada vez más atractiva para la industria, ésta permite realizar llamadas telefónicas a través de Internet transformando la voz señales digitales y poder ser transmitidas en paquetes IP. Se han desarrollado múltiples tecnologías tal como lo es VoIP (*Voice Over IP*), protocolos para su gestión, señalización, control y mecanismos de calidad de servicio que permiten establecer comunicaciones de voz con características equivalentes a los sistemas de telefonía tradicional mejorando y añadiendo nuevos servicios.

Hoy en día es difícil encontrar una empresa donde no se cuente con sistemas de telefonía, tal como lo es el caso de SERVIMECA, C.A que desde sus comienzos sostiene una plataforma tradicional para las llamadas internas y externas, viéndose en la necesidad de contratar a compañías proveedoras de servicio. En tal sentido, en el presente trabajo se diseña una plataforma de Telefonía IP que responda a los requerimientos específicos de SERVIMECA, C.A.

En el Capitulo I se describen los objetivos propuestos, la problemática presentada en la compañía y hasta donde se pretende llegar. Luego en el segundo Capitulo se presenta de forma de detallada todos los fundamentos teóricos que dan soporte a la tecnología aplicada al trabajo, separada en distintas etapas de investigación. En el Capitulo III se encuentra la metodología desarrollada para la elaboración del presente, la cual se divide en 4 fases de trabajo. En los capítulos posteriores (IV y V) se presenta el desarrollo de cada una de las fases y cómo fueron alcanzadas, los resultados y productos de cada una de ellas y la relación con los objetivos planteados y metodología propuesta, para al final presentar una propuesta de costos y poder observar la importancia de la implementación de esta tecnología para la empresa SERVIMECA, C.A, anexando un presupuesto del sistema final.

DEDICATORIA

El siguiente trabajo es dedicado a mi madre, mis tíos, mi papá y a toda mi familia, que me prestaron su apoyo incondicional durante toda mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, el Ing. Wilfredo Torres por haberme guiado y ayudado en todo el transcurso del trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	1
I.1) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
I.2) OBJETIVO GENERAL	3
I.3) OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
I.4) ALCANCES Y LIMITACIONES	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
II.1) FUNDAMENTOS	6
II.1.1) VoIP	6
II.1.2) VOIP COMO NEGOCIO.....	7
II.1.3) PROTOCOLOS DE SENALIZACIÓN	8
II.1.4) ALGUNAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	13
II.1.5) RTP Y DIRECCIONES NAT.....	15
II.1.6) MGCP (<i>Media Gateway Control Protocol</i>).....	19
II.2) ARQUITECTURA DE VoIP	19
II.2.1) COMPONENTES DE UNA RED VoIP	20
II.3) INFRAESTRUCTURA LÓGICA VoIP	21
II.3.1) TÚNELES VOIP	21
II.3.2) CÓDECS	22
II.3.3) TCP/IP COMO TRANSPORTE DE VoIP	24
II.4) CALIDAD DE SERVICIO	26
II.4.1) LATENCIA, JITTER Y PÉRDIDA DE PAQUETES	27
II.4.2) CoS (<i>class of service</i>).....	30
II.4.3) 802.1p y ToS.....	30
II.4.4) DIFFSERV (<i>Differentiated Services</i>).....	31
II.4.5) MANEJO DE COGESTIÓN	33
II.4.6) EVACIÓN DE CONGESTION.....	35

**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**

II.4.7)	MODELAMIENTO DE TRÁFICO (<i>Traffic Shaping</i>)	35
II.4.8)	VLAN (<i>Virtual Local Area Network</i>) 802.1q en QoS.....	35
II.4.9)	INTSERV (<i>Integrated Services</i>) y RSVP (<i>Resource Reservation Protocol</i>) ..	37
II.4.10)	MEJORES PRÁCTICAS PARA LA CALIDAD DE SERVICIO	39
II.5)	ESTÁNDARES ABIERTOS	41
II.5.1)	Sistema Operativo de libre distribución LINUX	41
II.5.2)	Software para PBX de Código Libre	44
II.6)	Tecnología de Aplicaciones Móviles para Clientes VoIP.....	48
CAPITULO III	.....	51
METODOLOGIA	.....	51
CAPITULO IV	.....	53
DESARROLLO	.....	53
IV.1)	FASE 1: INFORMACIÓN DOCUMENTAL Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	53
IV.2)	FASE II: DISEÑO	58
IV.3)	FASE III: PRUEBAS Y AJUSTES	59
IV.4)	FASE IV: DESARROLLO DE PROPUESTA	61
CAPITULO V	.....	63
RESULTADOS	.....	63
V.1)	ANÁLISIS Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	63
V.2)	ANÁLISIS DE TRÁFICO	69
V.3)	EVALUACIÓN DE <i>SOFTSWITCH</i>	73
V.4)	DISEÑO DEL SISTEMA	78
V.4.1)	ETAPA DE INFRAESTRUCTURA Y TERMINALES	78
V.4.2)	ETAPA DE ENLACE.....	81
V.4.3)	ETAPA DE CONFIGURACIÓN LÓGICA.....	86
V.5)	PLAN DE LLAMADAS.....	92
V.6)	PLATAFORMA DE PRUEBAS	95
V.6.1)	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESCENARIO.....	95
V.6.2)	HERRAMIENTAS DE SOFTWARE Y HARDWARE.....	97

V.6.3)	DESARROLLO DE PRUEBAS Y RESULTADOS	99
V.7)	PROPUESTA TÉCNICA Y DE COSTOS	114
V.7.1)	EVALUACIÓN COMPARATIVA	117
V.7.2)	EVALUACIÓN PRESUPUESTARIA	119
CAPITULO VI	.....	121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	121
CAPITULO VII	.....	125
GLOSARIO DE TERMINOS	.....	125
BIBLIOGRAFÍA	.....	128
ANEXO A	.....	130
ANEXO B	.....	132
ANEXO C	.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las redes.....	7
Figura 2. Señalización SIP	11
Figura 3. Full Cone NAT	16
Figura 4 Ejemplo NAT	17
Figura 5 Ejemplo STUN	18
Figura 6. Proyecto Zapel.....	47
Figura 7 Topología Actual	67
Figura 8 Equipos de Comunicación Actuales.....	68
Figura 9 Nueva Topología	85
Figura 10 Topología Propuesta	96
Figura 11 Medición tasa de bit	99
Figura 12 Comandos para limitación de enlaces	100
Figura 13 Medición tasa de bit limitado	100
Figura 14 Medición del Softphone	102
Figura 15 Medición de tasa de bit con llamada establecida	102
Figura 16 Medición 1 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos.....	103
Figura 17 Generación de Tráfico.....	105
Figura 18 <i>Softphone</i> con Congestión.....	105
Figura 19 Medición 2 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos con Congestión.....	106
Figura 20 Comandos QoS.....	108
Figura 21 Comprobación QoS.....	109
Figura 22 Comprobación QoS con Llamada en curso	111
Figura 23 Priorización de conexiones UDP para Mediciones	112
Figura 24 Medición 3 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos con Calidad de Servicio	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Códecs	28
Tabla 2. Clases de Servicio	31
Tabla 3 Esquemas de Colas.....	34
Tabla 4. Comparación QoS	38
Tabla 5. Distribuciones	43
Tabla 6. Directorios Asterisk.....	46
Tabla 7 Clientes Móviles VoIP.....	50
Tabla 8 Especificación de la LAN	63
Tabla 9 LAN	63
Tabla 10 Especificación WAN.....	64
Tabla 11 Especificación Entorno de Servidores	64
Tabla 12 Especificación Entorno de Usuarios	64
Tabla 13 Especificación Entorno de Protocolos	65
Tabla 14 Exploración Sistema Telefónico Actual	65
Tabla 15 Observaciones	65
Tabla 16 Equipos de Comunicación Actuales	68
Tabla 17 Cálculo de Promedio de Porcentaje de Llamadas Externas para MOVISTAR sobre totales .	69
Tabla 18 Cálculo de Promedio de Duración de llamadas por Operador.....	70
Tabla 19 Cantidad de Llamadas por Hora	70
Tabla 20 Promedio de Llamadas por Hora.....	71
Tabla 21 Cálculo de Tráfico Telefónico Total por Operadora en Erlangs.....	71
Tabla 22 Llamadas Simultáneas	71
Tabla 23 Líneas por Operadora (Tomando en cuenta un Grado de Servicio = 2%).....	72
Tabla 24 Evaluación <i>softswitch</i>	75
Tabla 25 Evaluación <i>softswitch</i> según requerimientos del proyecto	76
Tabla 26 Direccionamiento	87
Tabla 27 Plan de Llamadas	94
Tabla 28 Medición 1 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos	103
Tabla 29 Medición 2 Jitter , Latencia y Paquetes Perdidos con Congestión.....	106
Tabla 30 Medición 3 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos con Calidad de Servicio.....	113
Tabla 31 Componentes de red	115
Tabla 32 Componentes Primer Escenario	115
Tabla 33 Planes Recomendados Primer Escenario	116
Tabla 34 Segundo Escenario Llamadas Externas	117
Tabla 35 Evaluación Escenario Llamadas Externas.....	118
Tabla 36 Evaluación Económica	120
Tabla 37 Presupuesto	120

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

Este capítulo presenta un escenario introductorio al proyecto, en el cual se encuentra el planteamiento de la problemática actual de la compañía, el objetivo general, los objetivos específicos, los alcances y limitaciones.

I.1) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, existe una constante búsqueda de soluciones que tiendan a brindar resultados veloces, eficaces y de mejor costo en el plano de las telecomunicaciones. Las redes telefónicas de circuitos conmutados se han convertido en sistemas obsoletos debido a que éstas permiten establecer conversaciones pero ofreciendo servicios muy limitados para transmitir otro tipo de datos y multimedia; las compañías son un ejemplo de los grandes costos que estos servicios pueden generar. Con la progresiva velocidad que crece la red Internet y con el uso de protocolos como es el IP todas las nuevas ideas apuntan a tecnologías establecidas en este tipo de redes basadas en paquetes. Tal es el caso de la transmisión de Voz sobre IP (VoIP) y la implementación de servicios de telefonía sobre este protocolo. La empresa SERVIMECA C.A, elaboradora de tubos petroleros, desde sus comienzos ha tenido la necesidad de utilizar redes telefónicas tradicionales para sus comunicaciones internas y externas; por el objeto de la empresa, a los empleados se les permite efectuar llamadas de cualquier tipo para lo cual cuentan con teléfonos móviles con la posibilidad de realizar llamadas internacionales, nacionales y hasta acceso a *roaming* internacional al momento de viajar sin restricción alguna, lo que ocasiona que SERVIMECA C.A pague grandes cantidades de dinero a distintas empresas

proveedoras de estos servicios. Como una medida para evaluar la unificación de las comunicaciones y la disminución de costos se pretende diseñar una solución de telefonía IP en toda la red de la compañía basada en herramientas de software libre evaluando para ello *softswitch* y sus distintas implementaciones. De esta manera se busca aprovechar la infraestructura de transmisión de datos existente en la red IP de la empresa para comunicaciones de voz lo cual sugiere evaluar aspectos de Calidad de Servicio (*Quality of Service* QoS) a las llamadas mediante la priorización del tráfico de voz. Esto permitirá establecer con el menor retraso posible todas las llamadas a través de la red de Internet entre las 3 sedes de la compañía. Entre los beneficios que se esperan obtener está el control completo de llamadas que cada usuario puede realizar basándose en políticas de la empresa mediante la configuración de centrales *softswitch*, prescindir de los servicios de la compañía proveedora actual para las llamadas internas las cuales serán gratuitas con el nuevo sistema, llamadas hacia destinos externos mediante un previo estudio del tráfico de todas las llamadas que se efectúan en la compañía mensualmente. Por otro lado, se busca asegurar disponibilidad y movilidad para los usuarios permitiendo a éstos realizar llamadas dentro del área de la compañía mediante el diseño de redes inalámbricas, conexión desde cualquier país o lugar en donde se encuentre sólo con un acceso a Internet de velocidades equivalentes a redes de Tercera Generación (3G), redes Wi-Fi (Wide Fidelity); todo esto conllevaría a reducir considerablemente los costos antes generados por este tipo de servicio y el descontrol, teniendo en cuenta que se seguirá teniendo una calidad de servicio en llamadas equivalente al sistema anterior. Mediante un análisis básico de presupuestos se reflejará la importancia y lo necesario que es la adopción de este tipo de sistemas en SERVIMECA, C.A, y el impacto que tendrá sobre ésta al poder permitir comunicación telefónica mediante esta nueva tecnología que sin duda alguna es el futuro de la telefonía a un notable menor costo.

I.2) OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Sistema de Telefonía IP basado en software libre para la interconexión de usuarios en las sedes de SERVIMECA C.A, optimizando el tráfico de voz con mecanismos de Calidad de Servicio.

I.3) OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar investigación documental sobre sistemas de Telefonía IP, su arquitectura, y mecanismos de Calidad de Servicio.
- Investigar sobre el desarrollo de aplicaciones móviles para clientes VoIP.
- Estudiar el tráfico de llamadas nacionales e internacionales de la empresa SERVIMECA C.A, en un lapso representativo.
- Realizar un análisis de la infraestructura y enlaces de datos actuales de la empresa.
- Evaluar alternativas de *softswitch* disponibles en software libre.
- Diseñar el sistema de Telefonía IP que responda a los requerimientos de conectividad y Calidad de Servicio.
- Diseñar planes de llamadas, basados en jerarquías y políticas de la empresa.
- Realizar pruebas entre teléfonos IP o *Softphones* remotos.
- Evaluar los resultados de las pruebas y los ajustes de diseño pertinentes.
- Realizar una propuesta técnica y de costos para una futura implementación.

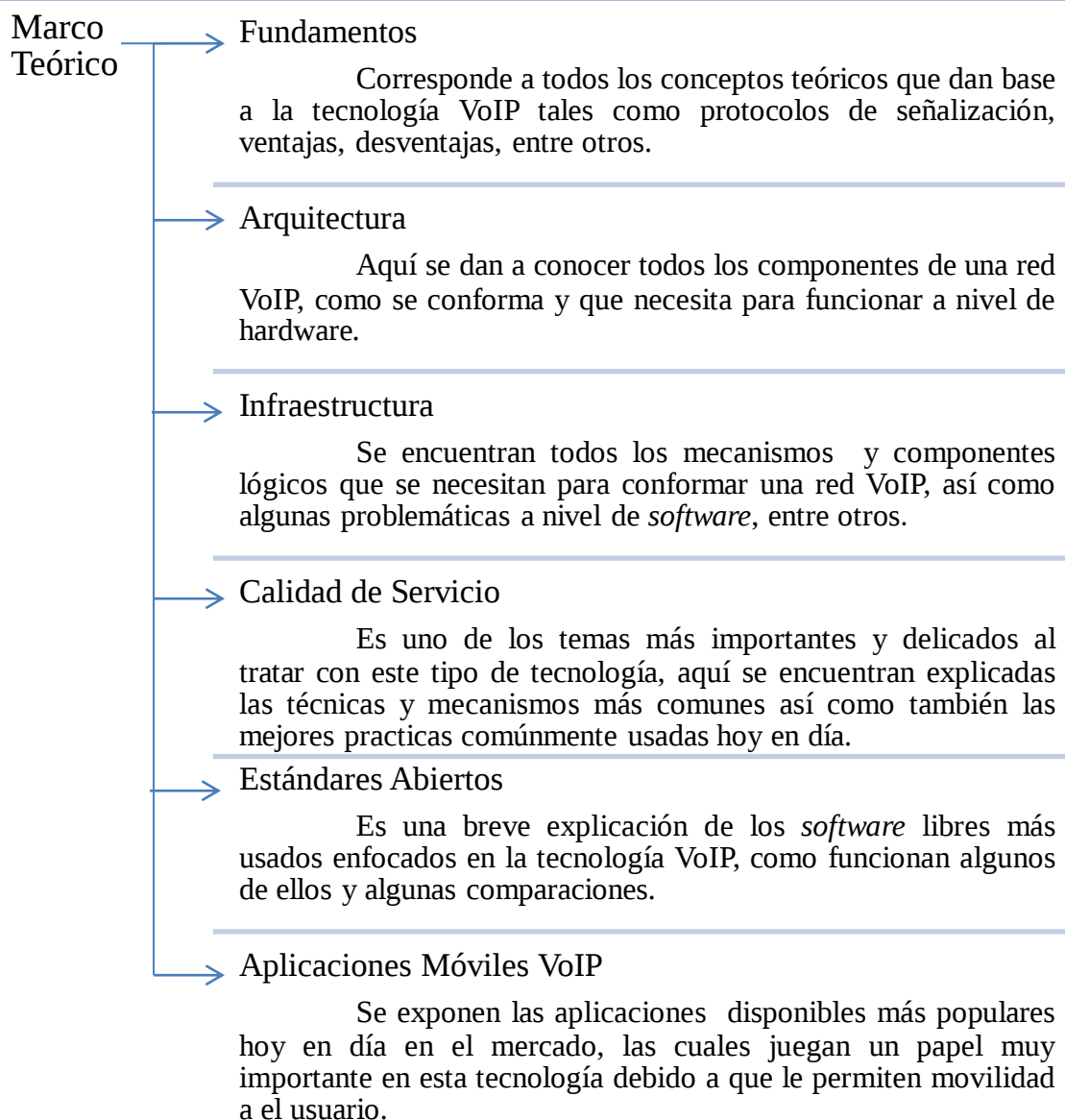
I.4) ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente trabajo está fundamentado sólo en el análisis y diseño del sistema propuesto, incluyendo una evaluación técnica con pruebas sobre un sistema prototipo y una propuesta de costos para unos componentes específicos. No se implementará el sistema completo. La compañía quedará en libertad de su futura realización, apoyándose en el sistema propuesto. Se presentarán resultados de pruebas sobre un prototipo del sistema entre terminales telefónicos, que dependiendo de los recursos y las condiciones que se tengan para el momento, podrán ser *softphones* o teléfonos IP físico. Se trabajará solamente con herramientas disponibles de software libre para las propuestas de centrales telefónicas IP (softPBX) y programas para los terminales como *softphones*.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

A continuación se presenta el Marco de Teoría referenciado a la tecnología de VoIP, su arquitectura, mecanismos de calidad de servicio y herramientas software libre, correspondiendo con la investigación documental. Se encuentra de forma resumida un esquema de información, el cual se divide en 6 etapas:



II.1) FUNDAMENTOS

II.1.1) VoIP

La posibilidad de utilizar redes de datos IP para realizar llamadas de Voz transportados en paquetes IP se le conoce como VoIP. Existen numerosas alternativas tecnológicas que permiten mantener una conversación a través de Internet, estas se pueden dividir en dos. Las primeras son aquellas que son propietarias de la empresa que las creó y por lo tanto son cerradas al público, como por ejemplo lo es Skype. En el segundo grupo encontramos tecnologías abiertas y estándares basados en protocolos SIP (Protocolo de Inicio de Sesiones) como ASTERISK, H323 o IAX. (EscuderoPascual & Berthilson, 2006, p. 2).

Internet fue pensada para la transmisión de datos que no necesitaban llegar al destino de forma ordenada, por ejemplo los datos de un servidor web pueden llegar de forma desordenada y son otros protocolos de capa superior los encargados de ordenarlos en cuestiones de milisegundos transparente al usuario. En el caso de la voz es distinto, las muestras pasan por un proceso de codificación y decodificación de forma continua y en tiempo real por lo que no se ordena la información, si una muestra no llega a tiempo simplemente se descarta afectando la calidad de la voz. Todo esto ocurre gracias a protocolos como UDP que son encargados de transmitir voz o datos en tiempo real haciendo su mejor esfuerzo sin agregar latencia con confirmaciones. La voz es digitalizada en las centrales antes de pasar por el primer equipo de conmutación, hoy en día las redes telefónicas tradicionales ya están digitalizadas, con el inminente desarrollo de esta tecnología dichas redes fueron migrando durante los años 80 y a principio de los 90 hasta convertirse en redes digitales. El único tramo analógico existente en las redes tradicionales es el que va desde el terminal telefónico hasta la central del operador, mejor conocido como bucle local. Esta evolución de las redes de telefonía apunta a soluciones más eficientes,

escalables, convergentes y económicas como lo es Voz sobre IP. (Carballar Falcón, 2006, p. 5). En la figura 1 se muestra la evolución de las redes telefónicas.

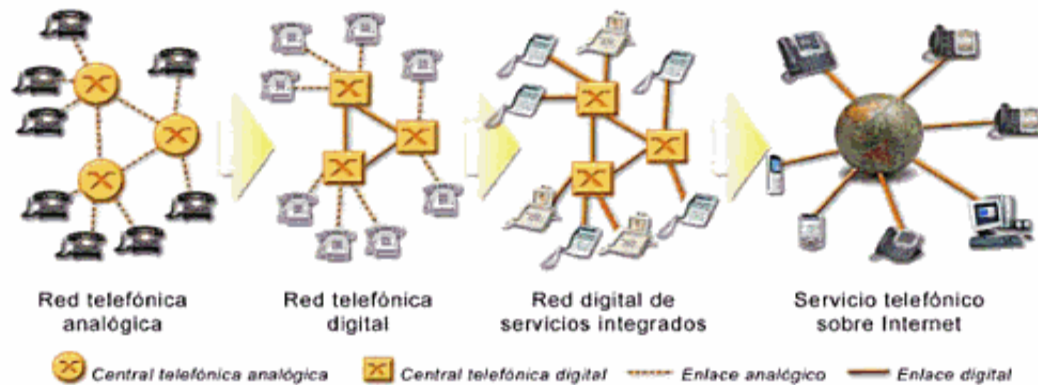


Figura 1. Evolución de las redes
(Carballar Falcón, 2006)

II.1.2) VOIP COMO NEGOCIO

Con respecto a las adaptaciones de los mercados, algunas ideologías de negocios son más compatibles y tardan más en adaptarse a VoIP que otras. Algunas organizaciones siempre están en la búsqueda de nuevas tecnologías, toman riesgos y las adaptan de una manera temprana, otras esperan a que el precio de la tecnología baje y luego es que son adoptadas. Estas últimas suelen ser muy pequeñas, como una simple persona o negocios en los cuales no tienen otra opción sino esperar que la tecnología sea estandarizada y aceptada, que sea implementada con una mínima inversión y sin asumir casi ningún riesgo. (Wallingford, 2005)

Cuando VoIP es considerada para la implementación, se necesitan justificar algunos puntos antes de realizar una inversión de hardware y software. La eficiencia por ejemplo, esta tecnología mejora la eficiencia y el uso del recurso de red o ¿tiene algún impacto negativo en los niveles de servicio en los cuales los usuarios están acostumbrados? ¿qué tan productivo puede ser llevar a cabo esta tecnología? ¿qué

tanto vale la pena? ¿cómo se comporta el modelo costo-beneficio a través del tiempo? Estas son solo algunas de las interrogantes que se necesitan plantear antes de llevarse a cabo. (Wallingford, 2005)

En cuanto al costo, el modelo de VoIP es sustancialmente diferente al de la telefonía tradicional. El modelo de costos del sistema tradicional es prácticamente fijo, significa que los dispositivos y los servicios adquiridos tienden a tener un costo no muy variable para la organización. VoIP hace que este modelo sea obsoleto debido a que permite controlar la telefonía mediante software con el control de llamadas, restricciones, entre muchas, otras características. Debido a que el software puede evolucionar y mejorar con el tiempo, es probable que los costos de mantenimiento disminuyan. VoIP es una tecnología que converge los servicios de voz y datos en una sola red y con una misma administración, sólo un personal de soporte es necesario para su mantenimiento, así que el costo tiende a disminuir también, comparando con la telefonía tradicional, que es más alto. En cuanto a la inversión inicial (incluyendo el entrenamiento) que se requiere para remplazar el sistema tradicional por VoIP, muchas veces es visto como muy grande. En muchas de las situaciones la mayor inversión no se realiza en hardware, si no en consultoría. La capacitación, el diseño del sistema y la asistencia técnica puede llegar a ser la mayor parte del presupuesto, especialmente cuando la aplicación es compleja o la empresa carece de experiencia interna. Pero todos estos costos iniciales se reducen al compararlo con las múltiples características de la tecnología, que disminuyen notoriamente los costos evaluados en el tiempo luego de su implementación. (Wallingford, 2005)

II.1.3) PROTOCOLOS DE SENALIZACIÓN

Un protocolo de señalización es un sistema de símbolos, requisiciones y respuestas que definen un lenguaje común hablado por teléfonos y servidores controladores, la red PSTN (*Public Switched Telephone Network*) y el legado de sistemas PBX (*Private Branch Exchange*) para poder establecer y controlar las

comunicaciones. Las necesidades de calidad de servicio hacen que sea necesaria una gestión de recursos que asegure la optimización de la capacidad de transporte de la voz, ya que cada vez más se usan las redes de paquetes para telefonía. En tal sentido se ha desarrollado una fuerte evolución de estándares y protocolos en este ámbito, que en los futuros años irá avanzando debido a la migración de los sistemas de telefonía tradicionales a redes “*All IP*” en tecnologías como lo es UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

(EscuderoPascual & Berthilson, 2006).

Existen dos grandes protocolos en señalización de VoIP: el *Session Initiation Protocol* (SIP), desarrollado por el grupo de IETF (*Internet Engineering Task Force*) y el H323 desarrollado por ITU (*International Telecommunications Union*). Otros estándares de señalización, como Cisco’s Skinny Cliente (SCCP), Nortel’s UNISTIM y Digium’s IAX han sido desarrollados por compañías privadas intentando brindar características de señalización de llamadas que no existen en las implementaciones públicas.

La tecnología de voz sobre IP contiene una gran familia de protocolos de señalización. Algunos *softswitch* soportan uno o dos de ellos. Otros como Asterisk (*softswitch* más usado en software libre), soportan la mayoría de los protocolos. Muchos de estos tienen características en común, tales como:

- Su propósito es señalar, grabar y facilitar eventos claves en una llamada: el principio, el final y cuando los usuarios intentan transferir llamadas o hacer videoconferencias.
- Ellos no tienden a ser soportados simultáneamente por los teléfonos IP. Existen teléfonos IP con SIP y con H.323, pero no existen uno con más de uno.

- Muchos están disponibles en implementaciones gratuitas tal como Asterisk, Gnome Phone (un *softphone* de código abierto), OpenH323 (un softPBX de código abierto), VOCAL y otros. (Wallingford, 2005)

II.1.3.1 SIP (*Session Initiation Protocol*)

Es el protocolo de señalización desarrollado por el IETF, es encargado de establecer llamadas y funciones de señalización multiusuario. Este protocolo ha ganado mucha fama entre los profesionales de IT (*Information Technology*), mientras que ha recibido algunas críticas de la gente de la telefonía tradicional. La razón principal por la cual no tiene una reputación perfecta es porque su origen no está en el mundo de las telecomunicaciones, sin embargo SIP casi no tiene defectos comparados con otros protocolos de ITU. Esencialmente las funciones de SIP son las mismas que H323, pero a diferencia de este, SIP es mucho más extensible, es algo más que un conjunto de protocolos de voz y video telefonía. Más bien, es un gran marco para todo tipo de aplicaciones basadas en mensajes, llamada, mensajería instantánea, entre otros. (Wallingford, 2005)

AT&T define SIP como “SIP es un protocolo de control de capa de aplicación que puede establecer, modificar y terminar sesiones multimedia como llamadas telefónicas por Internet. Con este protocolo se puede también invitar participantes a sesiones existentes, conformando de esta manera conferencias.” (AT&T, 2002).

Este protocolo está inspirado en el protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), del cual toma el modelo general y algunos códigos de respuesta. Cualquier paquete SIP se escribe en texto plano y puede observarse mediante cualquier analizador de red.

SIP cumple con cinco funciones de las comunicaciones, las cuales son:

- Localización del usuario: determinación de la ubicación del usuario final para la comunicación.
- Disponibilidad del usuario: determina la voluntad del usuario llamado a unirse a la comunicación.
- Sesión de configuración: “llamar”, se establecen los parámetros de sesión para el llamante y llamado.
- Gestión de la sesión: conteniendo transferencia y terminación de las sesiones, modificación y solicitud de los servicios.

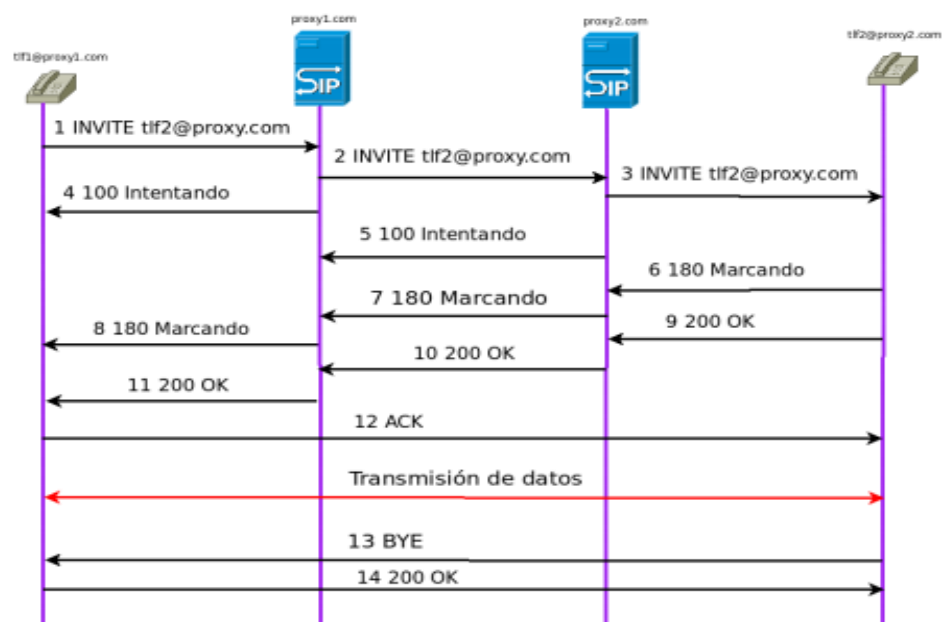


Figura 2. Señalización SIP
Fuente: (Sellés Rosa, 2009)

En la figura 2, se muestra un pequeño ejemplo de la señalización SIP. Los pasos de 1 al 12 y del 13 al 14, son mensajes de señalización que no contienen audio, los mensajes de 1 a 3 realizan la invitación, los mensajes del 6 al 8 muestran al llamante que se ha realizado la llamada, y los mensajes del 9 al 11 son la aceptación

por el llamado, una vez hecho esto se establece la llamada. La comunicación entre los terminales se realiza tras en el mensaje 12 y todo lo demás lo realizan los servidores SIP mostrados en la figura. (Sellés Rosa, 2009, pág. 20).

II.1.3.2 IAX (*Inter-Asterisk Exchange*)

IAX2 conocida como la segunda versión de este protocolo, es una alternativa al protocolo de señalización SIP. IAX2 usa solo un flujo en donde la voz y los datos viajan simultáneamente. Esta forma de envío se conoce como *in-band*. Debido al diseño, IAX2 es adecuado para las redes en las cuales se poseen gran cantidad de direcciones NATs (*Network Address Translation*) y también es capaz de encapsular varias llamadas simultáneas en un solo paquete IP, a esto último se le denomina *trunking* y su implementación resulta en un ahorro significativo de ancho de banda. (Sellés Rosa, 2009).

La gran diferencia entre los otros protocolos e IAX2 es que este no implementa RTP como mecanismo de encapsulamiento de paquetes, en lugar de esto tiene su propia forma de paquetizar la voz. IAX también es a prueba de direcciones NAT, por lo que cientos de llamadas simultáneas pueden realizarse, tal como lo hace HTTP. Es un protocolo hecho solo para aplicaciones de telefonía, mientras que H323 y especialmente SIP se extienden mucho más. (Sellés Rosa, 2009)

Mientras ocurre un registro de un teléfono, la señalización de llamada y transmisión de voz pueden usar un gran número de puertos y conexiones TCP y UDP con SIP o H323, IAX maneja todas estas funciones utilizando solo un puerto UDP. Cuando un cliente IAX se registra en un servidor IAX o proxy y cuando ocurre la transmisión de voz, un puerto es utilizado. La forma en que IAX distingue el registro, la transmisión y la señalización es incluyendo cabeceras y datos en cada paquete que definen el propósito de cada uno.

La documentación del protocolo describe el orden de estas cabeceras como controladores de trama, meta tramas e información de elementos, cada uno con una sintaxis IAX específica. IAX no está codificado usando ASCII, en su lugar usa un esquema de codificación binaria pura propia del protocolo. A diferencia de SIP y H323, IAX no es una recomendación estandarizada, pero es un protocolo independiente creado por Mark Spencer, fundador de Digium, la empresa promotora del *softPBX*. Aunque es propietario, la especificación para IAX es abierta y ha sido dirigido hacia la comunidad de VoIP. Asterisk lo implementa completamente. (Wallingford, 2005).

II.1.4) ALGUNAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Hoy en día, gracias a la migración de los proveedores de servicios a la banda ancha, la calidad de la voz en las comunicaciones IP ha aumentado considerablemente por lo que ya se empieza a ver como el futuro de la telefonía. Entre sus múltiples ventajas, podemos mencionar el costo de su implementación, al compararlo con los sistemas de telefonía tradicionales se observa que se produce un gran ahorro al no tener que adquirir todos los componentes tradicionales necesarios como por ejemplo, procesadores, memorias, cableado fuentes de alimentación, sistemas operativos. Todo esto sumándole costos de mantenimiento y gestión. Por si fuera poco, esto hace que el implementador se vuelva dependiente del proveedor de estos equipos. En cambio en el mundo IP, la mayoría del equipamiento esta estandarizado por lo que cualquier equipo puede ser remplazado por otro proveedor sin mayor dificultad y gracias a esta estandarización se fomenta la competencia, por lo que los costos de los equipos suelen ser menores. En el mundo IP se utilizan mucho mejor los recursos, en un circuito telefónico tradicional se necesita un canal de 64kbps y aunque ambos interlocutores estén callados el circuito sigue abierto, en IP se utilizan técnicas novedosas para suprimir el silencio, técnicas de compresión y el ancho de banda utilizado puede llegar a ser la octava parte del sistema tradicional.

Otra característica que poseen estos sistemas son los servicios de valor añadido. El protocolo IP permite crear nuevos servicios o funcionalidades bastando solo añadir algunos datos a la transmisión de voz, por ejemplo durante una conversación se pueden intercambiar imágenes o utilizar una pizarra virtual, permitiendo un trabajo en grupo o teletrabajo, entre otras múltiples funcionalidades. En una red de VoIP se puede llegar a tener información en tiempo real de estadísticas de la red y qué consumo realiza cada usuario con tan solo conectarse al sistema de gestión. Esta tecnología permite una amplia movilidad, a diferencia de la telefonía tradicional, la telefonía IP basta con disponer de una dirección IP, una conexión a Internet y cualquier equipo compatible para hacer uso del servicio en cualquier parte del mundo. Por otro lado, en el área empresarial los usuarios pueden disponer del servicio estando en cualquier lugar en donde se disponga de la típica conexión a una red WiFi o estando en cualquier aeropuerto, centro comercial o simplemente teniendo una conexión de datos móvil igual o superior a 3G (3 *Generation*). La tecnología en definitiva representa un inminente cambio, sin contar que también es una oportunidad de negocio brindando la posibilidad de hacer llamadas prácticamente gratuitas con un innumerable despliegue de aplicaciones. (Carballar Falcón, 2006).

VoIP tiene algunas desventajas con respecto a las telefonías tradicionales. La gran utilización de los servicios deriva en la difícil transmisión de los paquetes IP, comparando con las redes telefónicas cableadas las mismas características que atraen a los clientes a migrar a VoIP pueden ser la razón para que estos sistemas fallen, la red puede llegar a ser tan grande que garantizar los niveles de calidad puede ser una tarea difícil, a cambio en una red tradicional de conmutación de voz que tiene grandes capacidades los niveles de calidad de servicios pueden ser garantizados fácilmente. En la mayoría de las organizaciones, casas de familia, el protocolo IP de área local es un importante elemento en las comunicaciones interpersonales, se usa para ver el email, navegar por Internet, usar mensajería instantánea, entre otras muchas, cuando la VoIP remplace las redes tradicionales usando el protocolo IP, las redes de área

local serán la pieza clave en la infraestructura de las telecomunicaciones. (Wallingford, 2005)

II.1.5) RTP Y DIRECCIONES NAT

En Internet, a parte del uso del protocolo SIP en la señalización de las conversaciones que se realizan vía IP se hace presente otro protocolo llamado RTP (*Real Time Protocol*), que interviene para el transporte del flujo constante de los pequeños paquetes. Se encarga principalmente de llevar las conversaciones (voz) en tiempo real de un extremo al otro. En el RTP se define un mecanismo estándar para enviar audio y video por la red y funciona en cualquier puerto par UDP disponible por encima de 5000. De igual manera que en una conversación existen dos flujos de voz, en la red de Internet también se tienen dos flujos de paquetes RTP. (PILLOU, 2008)

Se dice que los NATS son los grandes enemigos de este protocolo “NAT consiste en utilizar una dirección IP enrutable (o dirección IP pública) para conectar a Internet las máquinas en una red privada a través de la traducción, en la pasarela de Internet, entre la dirección interna (no enrutable o privada) de la máquina que se desea conectar y la dirección IP de la pasarela (enrutable o pública)” (PILLOU, 2008).

Las direcciones NAT se pueden calificar en varios tipos:

II.1.5.1 FULL CONE NAT

Es una dirección NAT en la cual todas las peticiones de la misma IP interna y puerto son redirigidas a una dirección IP y puerto. Y cualquiera que quiera enviar un paquete a la dirección IP interna lo puede hacer mediante ésta IP redirigida y puerto. Si no se llegase a escoger una dirección IP redirigida, un paquete proveniente de una

red interna utiliza una redirección común con cualquier puerto de la manera mostrada en la Figura 3:

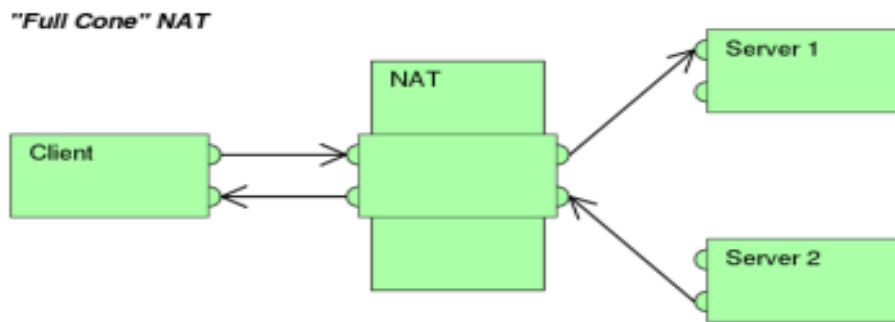


Figura 3. Full Cone NAT
(Sellés Rosa, 2009)

II.1.5.2 RESTRICTED CONE NAT

Todas las peticiones internas de direcciones NAT son redirigidas a una sola IP pública y puerto. Cualquier equipo externo podrá enviar un paquete a una dirección IP interna si ya éste envió anteriormente un paquete a esta dirección pública en cualquier puerto. (Sellés Rosa, 2009)

II.1.5.3 PORT RESTRICTED CONE NAT

Este tipo de dirección NAT es muy similar a *Restricted Cone NAT* con la diferencia de que un equipo externo sólo podrá enviar un paquete a un equipo interno, si anteriormente el equipo recibió un paquete de ésta dirección, sólo si se utiliza el mismo puerto. (Sellés Rosa, 2009)

II.1.5.4 SYMMETRIC NAT

En este tipo de dirección NAT, la dirección interna es redirigida a una dirección IP externa y un puerto. Si el mismo equipo quiere enviar un paquete a otro equipo externo utilizando la misma dirección interna y el mismo puerto, se utiliza una nueva

redirección. Es decir, para utilizar una nueva dirección se utiliza un trio (dirección, origen, destino), si alguno de ellos cambia, se asigna una nueva dirección. (Escudero-Pascual & Berthilson, 2006)

El efecto de las NAT en la voz sobre IP es que no se pueden recibir conexiones formadas desde el exterior. Existen numerosos problemas entre VoIP y NAT. El más común es el conocido como “voz en una sola dirección” o (*one-way audio*), dado que RTP está compuesto por un par de flujos de datos, en presencia de un solo NAT sólo el tráfico de adentro de la red hacia afuera no es bloqueado, por consiguiente el tráfico entrante no puede atravesar el NAT. Por lo que el que inicia la llamada no puede escuchar a su contraparte y si los dos se encuentran dentro de distintos NATs el proceso se complica mucho más hasta un punto en que ninguno de los flujos de voz llegan a su destino final. Por lo que en escenarios con IP privadas y NAT se hace poco trivial la configuración para permitir VoIP, sin embargo existen distintas configuraciones para solucionar a este problema. (EscuderoPascual & Berthilson, 2006)

Esencialmente para afrontar este problema, todas las soluciones han sido realizadas para los protocolos SIP y RTP, sin embargo pueden utilizarse para otras aplicaciones que sufran del mismo problema. La solución más directa es evitándolo, aunque no es en realidad una solución, consiste en limitar todas las comunicaciones IP dentro de una misma LAN y en aquellos casos que se necesite una dirección en un sitio geográfico distinto, colocar un túnel VNP como se muestra en la figura 4: (Sellés Rosa, 2009):



Figura 4 Ejemplo NAT
(Sellés Rosa, 2009)

Otra solución es utilizar el protocolo STUN (*Simple Traversal of UDP over NAT*), este fue desarrollado para que el cliente sepa qué tipo de NAT se está utilizando y su IP pública, de modo de intentar modificar las cabeceras para remover este comportamiento. STUN sólo funciona con protocolos que utilicen UDP y tengan una determinada configuración de NAT, por lo que no aplica para todos los casos. (Sellés Rosa, 2009).

En la figura 5 se puede observar un ejemplo del funcionamiento del STUN, en el cual un cliente inicia una conexión de VoIP a través del servidor STUN, en éste se realiza la traducción de la dirección IP privada del cliente 192.168.0.1 a la dirección IP pública del servidor 76.56.40.34.:

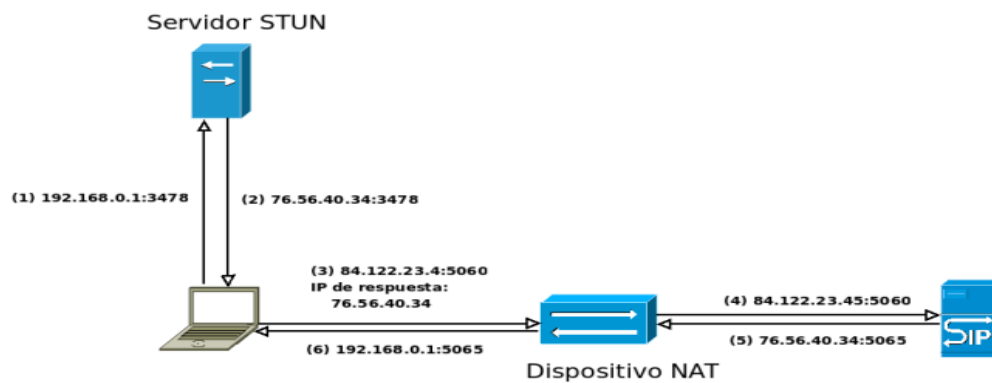


Figura 5 Ejemplo STUN
(Sellés Rosa, 2009)

Otro protocolo que se puede mencionar es el TURN (*Transversal Using Relay NAT*), que no es más que una extensión de STUN, se encarga de retransmitir los paquetes desde el cliente al servidor, logrando contrarrestar los problemas de seguridad inherentes a STUN, además del efecto del envío que produce redundancia y latencia. (Sellés Rosa, 2009)

II.1.6) MGCP (*Media Gateway Control Protocol*)

Este protocolo permite controlar los túneles de comunicación de los elementos de control de llamada externas llamados *Gateways* o Agentes de llamadas. Los *gateways* o pasarelas de red de un medio no son más que elementos que proporcionan la conversión entre una señal de audio de un teléfono tradicional a una señal paquetizada, para ser transportada por Internet o por una red conmutada por paquetes como Frame Relay. (Nivelo, 2010)

El protocolo MGCP presenta una arquitectura de gestión de llamadas en donde la inteligencia está fuera de las pasarelas y es manejado principalmente por agentes externos conocidos como Agentes de Llamadas. El MGCP asume que estos elementos de control de llamada se sincronizan entre sí para enviar órdenes y respuestas a las pasarelas. Si esta suposición no se cumple, el protocolo no posee los mecanismos para sincronizar los agentes por lo que no funcionarían correctamente. (Nivelo, 2010)

II.2) ARQUITECTURA DE VoIP

El proceso de comunicación sobre VoIP esencialmente puede ser llevado a cabo mediante distintos tipos de equipos, como lo es un computador que contenga un micrófono como transductor de la voz y unos altavoces para poder reproducirla, este equipo además tiene que contar con un *softphone* que no es más que un software que simula un teléfono IP, de esta manera estos equipos tienen apariencia similar a la de un teléfono tradicional, sin embargo cuentan con hardware necesario para digitalizar y paquetizar la voz (será visto con más detalle a continuación). Otra forma de conectarse a la red VoIP es con un **adaptador IP** que consiste en hacer la labor de transformar las señales análogas de un teléfono tradicional a señales digitales, este se conecta por un lado al teléfono y por el otro lado a la red, entre otros componentes

que se describen a continuación que conforman la arquitectura en su totalidad. (Sellés Rosa, 2009)

II.2.1) COMPONENTES DE UNA RED VoIP

II.2.1.1 TELÉFONO IP

Es un equipo fundamentalmente diseñado para trabajar en redes de VoIP. Estos teléfonos son capaces de soportar los distintos protocolos relacionados con esta tecnología de forma nativa. En apariencia son muy similares a los teléfonos tradicionales, solo que en vez de transmitir señales de voz analógicas, transmiten voz en paquetes IP y en lugar de poseer una conexión de red telefónica, tienen una conexión de red. Disponen de una dirección IP a la cual se les puede acceder y configurar para conectarlo a la red. (Sellés Rosa, 2009)

II.2.1.2 SOFTPHONE

Como ya se mencionó anteriormente, es un programa que simula un teléfono convencional a través de la interfaz de un computador, permitiendo hacer llamadas VoIP y puede estar basado en cualquier protocolo de señalización igual que un teléfono IP real. El único requerimiento para usarlos es tener una tarjeta de sonido en funcionamiento y estar seguro de que el *firewall* del computador no está bloqueando la aplicación. Se puede reducir el ancho de banda notablemente eligiendo un códec de alta compresión. (Sellés Rosa, 2009)

II.2.1.3 TARJETAS DE INTERFAZ A LA PSTN

Para poder encaminar las comunicaciones hacia la red tradicional se necesita de un componente especializado en la PBX. Éste por ejemplo, es una solución modular para usar con *Asterisk*, permitiendo conectar las líneas o teléfonos analógicos a la red. Estas interfaces pueden llegar a tener múltiples puertos a las cuales se pueden conectar diferentes líneas PSTN. (Sellés Rosa, 2009)

II.2.1.4 ADAPTADOR PARA TELÉFONOS ANALÓGICOS (ATA)

Es un dispositivo encargado de conectar un teléfono tradicional a una red de VoIP. Este ATA posee un conector RJ-11 en un extremo y típicamente y en el otro un conector RJ-45 (*Ethernet*). Este funciona como un dispositivo FXS, por un lado entra el audio analógico y por el otro lado se tiene la señal digitalizada. Estos adaptadores por lo general suelen ser más económicos y tienen la ventaja de que se pueden conectar cualquier dispositivo a la red, como por ejemplo un fax o una cabina telefónica. (Sellés Rosa, 2009).

II.2.1.5 PBX (Private Branch eXchange)

Es cualquier central telefónica conectada directamente a la red PSTN por medio de líneas troncales para poder gestionar las llamadas internas, entrantes o salientes con autonomía y diferentes características. En VoIP, se puede definir como la central que gestiona las llamadas y la señalización entre usuarios. Este dispositivo por lo general pertenece a la empresa que lo tiene instalado y no a ninguna compañía proveedora. (Nivelo, 2010)

Un PBX es un componente importante en la red, ya que este actúa como una ramificación de la red PSTN, los usuarios conectados a ella son gestionados por un administrador el cual tiene políticas establecidas sobre el control de tráfico hacia afuera de la red. (Nivelo, 2010).

II.3) INFRAESTRUCTURA LÓGICA VoIP

II.3.1) TÚNELES VOIP

Los túneles VoIP usan la voz digitalizada en paquetes IP para crear el camino entre dos servidores PBX. Estos túneles pueden remplazar a los túneles cableados tradicionales cuando por ejemplo los PBX se encuentran geográficamente separados

y el costo para conectarlos es muy elevado. Un túnel VoIP puede funcionar entre dos PBX con una conexión a Internet. Como otros protocolos, VoIP puede configurarse para transmitirse mediante VPN (*Virtual Private Network*) y GRE (*Generic Routing Encapsulation*) punto a punto. Las características de Internet permiten que esta tecnología sea mucho más flexible que los túneles cableados tradicionales. (Wallingford, 2005)

Se pudiera pensar que el uso de estos túneles pudiera ser una tarea sencilla, transportar dos conversaciones de 64 kbps en un túnel de 128 kbps, pero en VoIP, no lo es. El proceso de paquetización, RTP, y los datos de cabecera pueden agregar una sobrecarga importante a las líneas. Además de usar códecs con ancho de banda reducidos, existen otras técnicas que se pudieran tomar en cuenta para hacer la tarea más eficiente, tal como el uso de supresor de silencio y detectores de la actividad de voz para detener la transmisión cuando no se está hablando, el uso de cabeceras comprimidas en túneles de poco ancho de banda, implementar el protocolo IAX2 en los casos en donde el tráfico de llamadas es muy grande ya que este es mucho más eficiente en estos casos que SIP o H.323 o emplear SigComp (*Signaling Compression*) siempre que sea soportado por los equipos disponibles. (Wallingford, 2005)

En el caso de tener un túnel, es recomendable no recargarlo con tráfico que no sea tráfico de voz. Una manera fácil de distinguir el tráfico de voz y el tráfico de datos es organizar todo el tráfico de voz en una sola subred y el tráfico de datos colocarlo fuera del túnel. Se recomienda usar direccionamiento privado de distinto rango que tiene tráfico de datos. (Wallingford, 2005)

II.3.2) CÓDECS

Son algoritmos para la paquetización de la data multimedia para ser enviada o transportada en tiempo real a través de la red. Existen docenas de códecs para

transmitir audio y video, pero sólo se resaltarán los utilizados para la tecnología VoIP, muchos de estos están definidos en la recomendación ITU-T en la sección de transmisión de sistemas y data. Unos pocos han sido bien adaptados para la aplicación de música en tiempo real pero la mayoría han sido adaptados para las conversaciones de voz. (Wallingford, 2005)

Los códecs de telefonía fundamentalmente se dividen en dos grupos: aquellos que son basados en PCM (*Pulse Code Modulation*) y los que re estructuran la representación digital de PCM en formatos más portables. Así que los dos grupos son de tipo PCM, los cuales son de 64kbps. A continuación se describen los más comunes (Wallingford, 2005):

II.3.2.1 ITU G.711

El códec G.711 posee una tasa de transmisión alta de 64 kbps. Fue desarrollado por la ITU y es el códec nativo de redes digitales modernas de teléfonos. Posee una tasa de muestreo de 8000 muestras por segundo, lo cual permite un ancho de banda de 4000 Hz, cada muestra es codificada en 8 bits para luego tener una tasa de transmisión de 64 kbps. Existen dos versiones, la ley A se usa en casi todos los países del mundo mientras que la ley μ se usa en países como Japón y Estados Unidos. (Nivelo, 2010)

El uso de G.711 para la VoIP ofrece una excelente calidad, ya que no realiza la compresión en la codificación, por lo que suena igual que un teléfono tradicional y presenta un menor retraso ya que no hace uso extensivo del CPU (no comprime los datos). El problema se presenta con el ancho de banda, ya que necesita mayor tasa de bits que otros códecs, aproximadamente unos 80 kbps incluyendo la cabecera TCP/IP. Sin embargo, con una conexión de alta velocidad, esto no debería ser un problema. Este códec es soportado por múltiples productos de VoIP. (Nivelo, 2010)

II.3.2.2 UIT G.729

Es un códec comprime la señal en periodos de 10 mili segundos y no puede transportar tonos como como fax. Se usa fundamentalmente en aplicaciones VoIP por su pequeña tasa de bit (8kbps). También existen extensiones de la norma que permiten velocidades de 6,4 y 11,8 kbps para calidades inferiores y superiores. El uso de aplicaciones usando este tipo de códec requiere de un licenciamiento, sin embargo existen implementaciones libres para su uso no comercial. (Wallingford, 2005)

Este códec pertenece al grupo de los más económicos en cuanto a ancho de banda para el uso en red, incluyendo también al G.721, G.723, G.726 y G728, que van desde una tasa de 8 hasta 32 kbps. Este grupo utiliza el algoritmo ADPCM (DPCM adaptativo) para reducir el ancho de banda. (Wallingford, 2005).

II.3.2.3 GSM (Global System for Mobile Communication)

Este códec se le denomina oficialmente RPE-LTP (*regular pulse excitation – long term prediction*) pero se le conoce coloquialmente como GSM, debido a que es el usado en este sistema de comunicación. Este posee una tasa de bit de 13 kbps y realiza una codificación generando coeficientes representativos de un intervalo de tiempo determinado. Este intervalo está establecido normalmente en 20 mili segundos de voz y usa algoritmo CELP. (Cruz, 2007)

II.3.3)TCP/IP COMO TRANSPORTE DE VoIP

La infraestructura VoIP tiene lugar también en las capas lógicas de la red. Eso es cuando el protocolo TCP/IP remplaza las líneas analógicas por conexiones VPN, datagramas UDP sin seguridad, túneles GRE y hasta túneles SSH. Muchos de ellos mejor adaptados para aplicaciones de voz que otros. (Wallingford, 2005)

II.3.3.1 VPN (*Virtual Private Network*)

Las VPNs crean conexiones cifradas a través de Internet entre dos redes IP encapsulando el tráfico privado en un tráfico público y enviando este entre dos enrutadores (LAN-to-LAN VPN) o desde un usuario retomo a un VPN *Gateway* (*road warrior*). (Wallingford, 2005)

Las dos tecnologías VPN más usadas hoy en día son PPTP e IPSEC. Cuando ambas pueden ser usadas para conexiones LAN-to-LAN o *road warrior*, es mucho más común ver IPSEC cuando existe una gran densidad de datos viajando debido a que este usa estándares IETF. A pesar de sus diferencias, PPTP e IPSEC son excelentes en seguridad tradicional pero no son eficientes a la hora de transportar datos en tiempo real como VoIP debido a que agregan un retardo aproximado entre 5ms a 50ms. Debido a que casi siempre viajan por Internet, están sujetos a los típicos retardos de esta red, haciéndolos menos sustentables para VoIP. Los dispositivos que se usan para conectar los clientes VPN (servidores y *gateways*) a menudo no tienen el suficiente poder de procesamiento para soportar grandes números de canales. (Wallingford, 2005)

Estos obstáculos sin embargo, no dejan a las VPN fuera de juego. Si los puntos a conectar usan una conexión de Internet del mismo proveedor de servicios, entonces es probable que el proveedor puedan gestionar la conexión VPN y garantizar una latencia mínima, ya que el tráfico no tiene que salir de su propia red. (Wallingford, 2005)

Los aspectos para optimizar los túneles VPN para el uso particular de la voz son: tratar en lo posible de mantener el tráfico entre las dos sedes remotas dentro de mismo ISP (*Internet Service Provider*) para así disminuir el número de saltos entre enrutadores. Mantener el tráfico dentro de una misma red permite al proveedor garantizar un cierto nivel de calidad de servicio. Otro aspecto a resaltar

es el uso de los terminales, si se usa un terminal especializado en VPN como un enrutador o un concentrador, estar seguros de que éste puede etiquetar el tráfico con prioridad después que ha sido encapsulado en el tráfico VPN. De este modo, la información de CoS (*Class of Service*) registrado por el teléfono en cada paquete de LAN no se pierde dentro del paquete VPN encapsulado a medida que viaja por Internet. Si la solución no cuenta con esto, es posible que la calidad se vea afectada. (Wallingford, 2005)

II.4) CALIDAD DE SERVICIO

Para establecer una correcta definición de éste término, citamos la definición asignada a por el diccionario de la lengua española. Calidad es “Es el valor intrínseco de una cosa y el valor relativo resultante de compararla con otras de su misma categoría”. Lo que significa que para determinar si un servicio ofrece una buena calidad, debemos realizar una comparación. En el mundo de las telecomunicaciones, publicado por E-800 de ITU, QoS se define como “el efecto colectivo del rendimiento de un servicio que determina el grado de satisfacción del usuario de dicho servicio”. QoS es la capacidad de un elemento de red de asegurar que su flujo de tráfico y los requisitos de servicios con respecto al usuario puedan ser satisfecho, ésta puede requerir la cooperación de las distintas capas de red, así como también de cada elemento de la misma, de muchos mecanismos y técnicas, control del ruido, control del ancho de banda, entre otros. Fundamentalmente se subdivide en cuatro variantes muy relacionadas entre sí: la QoS que el usuario desea, la que el administrador ofrece, la que el administrador consigue realmente y la que percibe el usuario al final. (Nivelo, 2010).

QoS suele referirse a todas las tecnologías que están orientadas para la mejora del rendimiento de la voz en las redes convergentes: 802.1p, VLAN, DiffServ, RSVP y muchos otros. Pero en el contexto de VoIP, QoS es en realidad una manera de decir “más elaborado que CoS”. Eso significa que QoS toma en consideración soluciones

más allá que CoS, como lo son 802.1p y DiffServ. Dos piezas claves en QoS son los estándares RSVP y MPLS, en diferentes escenarios. La calidad de servicio es un tema de diseño de red y una serie de estándares para la reservación del ancho de banda en la red. Los conceptos de QoS tienen que lidiar con problemas como la pérdida de paquetes y latencia. La solución: un buen diseño de sonido en la red. Esto significa proveer de un ancho de banda suficiente y una buena organización de los elementos de la red. La mayoría de los ingenieros de red, al toparse con un problema común como lo es un cuello de botella, buscan agrandar el ancho de banda, no hay nada de malo con eso pero no es la solución más efectiva ni la más elegante. Como resultado, muchos ingenieros rediseñan la red para obtener más ancho de banda y esto puede ser un desperdicio. Después de todo, lo que se necesita es *calidad de servicio* y no *cantidad de servicio*. Los estándares relacionados, por otro lado, son protocolos específicos de red que proveen mediciones de calidad como reservación de ancho de banda y priorización de paquetes. (Wallingford, 2005).

II.4.1) LATENCIA, JITTER Y PÉRDIDA DE PAQUETES

La latencia es sinónimo de demora y mide el tiempo que tarda un paquete en atravesar la red hasta su destino final. Para mejorar la calidad de servicio es necesario reducir este parámetro al máximo y es causada principalmente por los enlaces lentos en la red. Múltiples investigaciones han establecido que en un viaje de paquetes la latencia menor a 150ms no es inmediatamente perceptible, pero la latencia mayor a 150ms ya desalienta un poco la calidad de la voz y una latencia superior a 300ms se considera inaceptable. La latencia tiene ciertos efectos sobre las aplicaciones de telefonía tales como: puede hacer que las conversaciones humanas sean lentas, puede hacer que se interrumpa la conversación muy seguidamente, puede causar eco y puede causar retrasos en la sincronización de aplicaciones de llamadas de videoconferencia.

La mejor manera de combatir este problema es el uso de códecs con un intervalo pequeño de paquetización y mantener los enlaces de la red lo más óptimos posibles, ya que los protocolos de calidad de servicio no pueden actuar solos directamente para mejorar el impacto de la latencia, eso es que no pueden hacer que la red sea más rápida. La latencia es perjudicial para la VoIP pero también ayuda de cierta manera a las soluciones base de los códecs para lograr el *jitter* (explicado posteriormente) y la ocultación de pérdida de paquetes PLC (*Packet Loss Concealment*), ambos son generados con latencia. (Wallingford, 2005)

Las dos grandes fuentes de la latencia son el enmarcado y la paquetización, las cuales pueden adherir unos 30ms de latencia y el enrutamiento, el cual adhiere entre 5 y 50ms por salto. Otro gran contribuyente es la transcodificación, que en Asterisk 1.01 por ejemplo agrega un retraso aproximado en milisegundos mostrados en la siguiente tabla, en la cual las filas representan el origen y las columnas el destino.

Códec	GSM	ULaw	ALaw	G.726	LPC10	ILBC
GSM	N/A	4	4	12	14	59
ULaw	10	N/A	1	10	12	57
ALaw	10	1	N/A	10	12	57
G.726	17	2	2	N/A	19	64
LPC10	18	10	10	18	N/A	65
ILBC	19	11	11	19	21	N/A

Tabla 1. Códecs
(Wallingford, 2005)

La pérdida de paquetes causa un gran daño a las llamadas de VoIP, su principal causa es la congestión de la red. Cada códec tiene su propia tolerancia a pérdida de paquetes. PLC es una característica de muchos códecs que permiten la

percepción de una crisis de calidad de servicio al tener pérdida, lo cual reducen a través de algoritmos especializados. Estos códecs trabajan remplazando el sonido que posiblemente se habría producido por un paquete que se perdió con sonido que es predicho en base a una secuencia de paquetes recibidos antes y después de éste. Aún con esta tecnología funcionando, en VoIP la pérdida de paquetes se tiene que mantener menor que 1%. (Wallingford, 2005)

El *jitter* es un problema un poco más complejo que la latencia y la pérdida de paquetes. Es la variación en el tiempo de latencia entre un paquete y el siguiente. Esto puede causar que los paquetes lleguen desordenados, dejando huecos en el flujo de la señal de voz. El *jitter* suele aumentar cuando el tráfico tiene que pasar por muchos enrutadores, mientras más saltos, peor será. Algunos enrutadores, en especial los del proveedor de servicios pueden configurarse para recibir los paquetes, ordenarlos y enviarlos de nuevo. Otros poseen balanceo de carga, lo que puede contribuir a mejorar este problema. La mayor meta de los protocolos de calidad de servicio es eliminar el *jitter*. Los *buffers* en las interfaces de los puntos finales o en los servidores VoIP pueden minimizar este efecto, pero tal como PLC, aumenta también la latencia. Un *buffer* es el espacio en donde los paquetes se almacenan para luego ser enviados al servidor VoIP para ser procesados. Los paquetes se almacenan, se ordenan si es necesario y se reproducen a una velocidad constante. Si por ejemplo el buffer es de 200ms, significa que se introducirá un retraso de ese tiempo antes de reproducir la voz. Existen los *buffers* estáticos y dinámicos. Un buffer estático está preinstalado en el equipo y es predefinido por el fabricante y el dinámico se configura usando un programa que lo permite. Un valor muy común de *jitter* es 100 ms. Al incrementar el valor de *buffer* se mejora la calidad de la conversación, pero se empeora el retraso. (Sellés Rosa, 2009)

II.4.2) CoS (class of service)

CoS o clase de servicio trabaja priorizando el tráfico en un solo enlace de datos. Mientras QoS se refiere a la red completa, CoS solo se refiere a un solo enlace. Así que, una solución de CoS podría ser por ejemplo el soporte de priorización de paquetes en un switch *Ethernet*, pero un grupo de enrutadores haciendo lo mismo podría referirse a una solución QoS. Clase de servicio define el comportamiento por salto, así que no puede garantizar calidad en términos de capacidad o velocidad. En vez de eso, realiza su mejor esfuerzo “*best effort*” para entregar los paquetes priorizados en estos saltos. Esta solución es óptima cuando se usa en enlaces en los cuales menos del 30% del tráfico es voz, que es lo que se maneja en la mayoría de las empresas hoy en día, pero no es tan efectivo cuando se usa en un tráfico en el que la voz representa el porcentaje más alto. Existen dos estándares principales en esta tecnología: 802.1p/ToS y *DiffServ*. (Wallingford, 2005)

II.4.3) 802.1p y ToS

802.1p utiliza una porción de 3 bits en la cabecera del paquete *Ethernet* para clasificar cada paquete en con un nivel de prioridad en particular en un enlace local de datos. Cada nivel de prioridad determina el comportamiento por salto, 802.1p denomina a la priorización *Traffic Class Expediting*. Tipo de Servicio (ToS), es la porción del paquete de la cabecera del paquete IP que guarda la información de prioridad. Muchos proveedores llaman a esto ToS IP *precedence*. 802.1p y ToS **tienen a ser usados en conjunto** cuando se usa protocolo TCP/IP. 802.1p es un estándar definido por la IEEE que beneficia a un solo enlace de datos en comparación con un grupo de ellos, usando políticas de clase de servicio. Así que tiende a ser una característica de los switches *Ethernet*, en comparación con los enrutadores, que tienden a soportar ToS de otra manera. Desde que fueron fijados los 3 bits para la clasificación, 802.1p permite 8 tipos de clase de servicio (Wallingford, 2005):

Número	Nombre
0	Best Effort
1	Background
2	Standard
3	Bussiness Critical
4	Streaming Multimedia
5	Interactive Multimedia
6	Interactive Voice
7	Network Critical

Tabla 2. Clases de Servicio
(Wallingford, 2005)

II.4.4) **DIFFSERV** (*Differentiated Services*)

Definido en el RFC 2474, es un estándar de tipo CoS que usa más espacio y de una mejor manera la etiqueta de ToS. Mientras que 802.1p tiende a ser usado en ambientes de switchs *Ethernet*, *DiffServ* es usado para soportar los enlaces WAN punto a punto. Cuando los paquetes alcanzan el límite de la red, sea de los puntos finales o de una red remota, *DiffServ* etiqueta los paquetes en el campo ToS de la cabecera IP basado en la prioridad establecida para ese paquete. Una vez dentro del conjunto de equipos WAN, todos los saltos en enrutadores posteriores deben cumplir con la misma prioridad fijada por el enrutador inicial que etiquetó el paquete. (Wallingford, 2005)

Los DSCP (*Diffserv Code Points*) son los códigos establecidos para los niveles de prioridad de un paquete mediante 6 bit del campo ToS en las cabeceras IP. DSCP tiene la posibilidad de definir una gran gamma de prioridades contando con 6

bits para ello, sin embargo, la mayoría de las implementaciones soportan solo 3 bits y los otros 3 son usados para extensiones del estándar DiffServ. DSCPs pueden ser desglosados en tres clases, la primera es AF (*Assured Forwarding*), una clase muy conveniente, usada comúnmente para etiquetar paquetes de señalización tales como H.225 y SIP. La siguiente es la EF (*Expedited Forwarding*), que es la clase más utilizada, ésta se encarga de llevar paquetes con contenido de voz. La última clase es BE (*best effort*), que como su nombre lo indica, realiza su mejor esfuerzo para entregar los paquetes por lo que es la clase menos conveniente, utilizada para entregar paquetes de no tienen contenido de voz. Cuando el paquete llega al borde de la red para salir, el enrutador decide qué tipo de clase DSCP va a estar. Los paquetes de mayor prioridad son AF o EF, mientras que los otros reciben BE o no reciben etiqueta. Se recomienda configurar en el *softPBX* AF para el tráfico de voz. (Wallingford, 2005)

DiffServ empieza a hacer su función durante el establecimiento de la llamada. Una vez que el enrutador de borde empieza a gestionar la sesión RTP (*real time protocol*) para ser establecida y el primer paquete de voz es transmitido, una notificación es enviada al servidor COPS encargado de guardar la información acerca de las preferencias de paquetes dentro de la red, con la finalidad de determinar la prioridad de esa sesión RTP (también es posible obtener esta información de los enrutadores previamente configurados en la memoria). El servidor COPS informa a los enrutadores de borde cuál de las 3 clases DSCP se utilizará en los paquetes, una vez clasificado, los enrutadores son los encargados de etiquetar a éstos. Los enrutadores por lo general tienen la propiedad de recordar las políticas establecidas para esa sesión en particular, por lo que los demás paquetes tendrán la misma prioridad. Cuando pasan por el núcleo de la red ya los paquetes han sido clasificados y marcados, por lo que los enrutadores de núcleo no tienen la necesidad de buscar la información repetidamente. El comportamiento siempre será el mismo para cada paquete. (Wallingford, 2005)

II.4.5) MANEJO DE COGESTIÓN

Son los mecanismos utilizados para manejar situaciones en donde el ancho de banda de los enlaces solicitados por las aplicaciones es mayor al de la red, estos son conocidos también como estrategias de encolamiento. (Alvarez, 2005).

A continuación se muestra en la tabla 3 una descripción de los tipos de estrategias de encolamiento comúnmente usados:

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

FIFO	De los encolamientos es el más simple, el primer paquete en entrar a la interfaz es el más rápido en salir, es adecuado para enlaces de alta velocidad, sin embargo cuando la cola está llena, descarta los paquetes.
FAIR QUEUING (FQ)	Es un método que provee de asignación de ancho de banda de forma automatiza, es recomendado para enlaces menores a 2048 kbps. Éste trabaja filtrando los flujos de tráfico según su información de cabecera IP mediante distintos parámetros. Los flujos una vez diferenciados, el enrutador determina cuales son sensibles al retardo o de uso intensivo priorizándolos hacia el principio de la cola. Es apropiado en situaciones en donde siempre hay altos y bajos de tráfico, o condiciones cambiantes en la red.
PRIORITY QUEUING	Consiste en asignar distintas colas con distintas prioridades previamente. Cada paquete es asignado a una cola distinta las cuales son servidas en estricto orden de prioridad. Las colas con mayor prioridad son atendidas primero, luego las segundas, en ese orden. Si llega un paquete de alta prioridad y está siendo atendido uno de baja, éste es atendido primero. Es recomendable sólo en situaciones de tráfico muy importante, ya que podría darse el caso que se queden paquetes sin atender de baja prioridad.
CUSTOM QUEUING	Es el mismo método PQ pero personalizado. Este permite administrar qué tipo de prioridad se le dará a los paquetes sin quedar colas de baja prioridad sin enviar. Se especifica el número de paquetes o bytes que deben ser atendidos en cada cola y se pueden crear hasta 16 colas para separar el tráfico. Ofrece un mecanismo más flexible que PQ pero no asegura prioridad absoluta.
CLASS-BASED WFQ	WFQ tiene algunas limitaciones, como por ejemplo de escalabilidad, a medida que aumenta la cantidad de tráfico, el procesamiento del enrutador es mayor, por lo que puede llegar a colapsar. CBWFQ fue desarrollado para evitar esto, permitiendo un control sobre el tráfico de colas y asignación de ancho de banda, dividiendo en clases. Este permite por ejemplo fijar tasas de transmisión. Se crean distintas clases con distintos parámetros para que los paquetes entren en estas clases predefinidas.
LOW LATENCY QUEUING	Es una combinación entre PQ y CBWFQ. Es el método predilecto para utilizar en VoIP, también trabaja muy bien en videoconferencia. Este consta de distintas colas con clases basadas en prioridades definidas y simultáneamente posee una cola de prioridad absoluta. Siempre se enviará el tráfico de la cola absoluta primero, pero se define un ancho de banda límite para que no opaque el otro tráfico. La cola absoluta tiene un máximo retardo para los paquetes, que es calculado como el MTU dividido por la velocidad del enlace.

Tabla 3 Esquemas de Colas
(Alvarez, 2005)

II.4.6) EVACUACIÓN DE CONGESTION

Son métodos basados en la manera que los protocolos operan, evitando la congestión de la red. Por ejemplo, cuando múltiples conexiones TCP se encuentran cambiando su ventana simultáneamente conlleva a picos y valles de tasa de bit, evitando que se utilicen por completo los recursos de la red. Este problema es conocido como sincronización global y es evitado por unas técnicas como la llamada REC (*Random Early Detection*) que evita que se agrande la ventana de estas conexiones, manteniéndolas en todas en un nivel adecuado. (Alvarez, 2005)

II.4.7) MODELAMIENTO DE TRÁFICO (*Traffic Shaping*)

En muchas ocasiones es necesario limitar el tráfico saliente de las interfaces para administrar los recursos de la red. Existen las metodologías para esto, una de ellas es la llamada *Policing*, que se especifica un umbral de ancho de banda para una clase de tráfico, si es excedida, se descartan. La otra es *Traffic Shaping*, que es mucho más diplomático, en vez de descartar el tráfico excedente de la cola, lo atrasan con el fin de modelarlas a una tasa que la interfaz pueda manejar, suavizando el tráfico sin descartarlo. Es una buena opción cuando se tiene que respetar una cierta tasa de bit. A este tipo de técnicas se les denomina Enrutamiento Basado en Políticas y es realizado mediante listas de acceso. (Alvarez, 2005)

II.4.8) VLAN (*Virtual Local Area Network*) 802.1q en QoS

Normalmente Ethernet brinda un sólo dominio de *broadcast* por segmento de red. Eso ocasiona que cuando un paquete destinado a un *host* local en este segmento cuya dirección MAC (*Media Access Control*) no ha sido solucionada ni ha sido asociado a ningún puerto *Ethernet*, un mensaje *broadcast* es transmitido a todos los puertos para encontrar el dispositivo que tenga la dirección MAC correcta hacia dónde va el paquete. Una vez que es encontrado, es guardado en una tabla ARP (*Address Resolution Protocol*) cuya función es tener la información de las direcciones

MAC de los dispositivos, dentro del switch, para que el tráfico futuro destinado a esa dirección sea enviado sin la necesidad del *broadcast*. Esto puede ocasionar pérdida a su vez de ancho de banda y ciclos infinitos, gracias a la tecnología de la IEEE 802.1q estos problemas han sido reducidos. Una VLAN no es solamente un estándar de CoS, sino que también es una manera de separar el tráfico Ethernet de manera lógica, crear dominios *broadcast* seguros y separar el tráfico según sea el caso. Una red virtual de área local es una manera lógica de separar estos dominios pudiendo coexistir con otras VLAN dentro de mismo segmento físico (Nivelo, 2010)

Cada switch que admite esta tecnología, tiene asignado un número de VLAN en los puertos que es único dentro de la red. Esta etiqueta identifica en que VLANs participa el puerto, el dispositivo conectado solo recibirá y enviará tráfico de esa VLAN. (Nivelo, 2010)

Las VLANs son tecnologías de la capa 2 del modelo OSI, la capa de enlace, debajo del protocolo IP. Esto es algo beneficioso ya que permite implementar VoIP de una manera eficiente, separándola del tráfico de datos TCP/IP. La solución consiste en establecer una VLAN estrictamente para dispositivos VoIP o filtrar distintos tipos de protocolos (UDP, TCP) y números de puerto. Esta última no es la opción más óptima para dar prioridad al tráfico pero puede ser una manera, esto se puede lograr mediante switches de capa 3 (capa de red) por ejemplo. Configurar una VLAN pueden ser una manera de reforzar la calidad de servicio, pero las VLAN tiene una gran advertencia: su uso excesivo puede hacer la red difícil de mantener, así que no es recomendable usarlas libremente, podrían convertir la red en un gran problema. (Nivelo, 2010)

Un *trunk* es un puente creado entre dos switches para enviar tráfico de distintas VLANs, separando igualmente los dominios. Los paquetes son identificados dentro de ese túnel con etiquetas con el número de VLAN a la cual pertenecen y priorizados con el número UPF (*User Priority Field*), el cual tiene un rango que va de 0 a 7,

comenzando con el número 7 como de mayor prioridad. Basado en este número, el tráfico es enviado a través del *trunk*. Puede darse el caso en el que los paquetes con poca prioridad se queden en cola o sean descartados si la cola del switch está llena. (Nivelo, 2010)

II.4.9) INTSERV (*Integrated Services*) y RSVP (*Resource Reservation Protocol*)

RSVP un protocolo de reserva de recursos y es usado en el mundo VoIP para manejar la calidad de servicio de las llamadas. Este trabaja reservando un ancho de banda específico requerido mediante un proceso de señalización, muy similar a como lo hace ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) y un estado latente por cada componente en la red entre dos usuarios finales. Este es definido en el RFC 2205, es un protocolo que usa tanto comunicación *Unicast* como *Multicast* y fue básicamente diseñado para gestionar y mantener la información de reserva de ancho de banda a lo largo de un flujo de paquetes, antes que se inicie la transferencia. Este protocolo es utilizado por un anfitrión para solicitar calidades determinadas de la red IP para los flujos de datos o voz. (Nivelo, 2010).

Servicios Integrados (IntServ) en una recomendación de la IETF para dedicar ancho de banda a flujos de datos individuales o canales en una red IP. Da prioridad a los enlaces que participan en una conversación, tal como lo hace DiffServ, la diferencia está en que los enrutadores sean de núcleo o de borde, participan en el proceso de decisión que resulta en un ancho de banda dedicado para cada solicitud, sin añadir información de prioridad a los paquetes. El protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*) es el protocolo de señalización recomendado para IntServ. Es una buena elección para redes en las cuales el ancho de banda es muy limitado. Éste trabaja con los enrutadores de núcleo, abarcando una gran parte de su capacidad de procesamiento, lo que puede llegar a ser una desventaja, sin embargo es perfecto para soluciones para enlaces lentos ya que garantiza un flujo RTP seguro en lugar de

hacer su “mejor esfuerzo”. En este contexto, los sistemas de voz pueden notificarle a los enrutadores, sean de núcleo o de borde, el ancho de banda que necesitan por conversación. Este protocolo no es recomendado en oficinas pequeñas, si por ejemplo se tienen dos oficinas con 50 usuarios cada una, RSVP es un exceso. Es preferible simplificar la calidad de servicio a solo usar 802.1p y si se quiere, DiffServ en los enrutadores o switches (Wallingford, 2005).

El protocolo usa el ID de sesión de los flujos de RTP para identificar la solicitud de ancho de banda. Cada solicitud forma parte de la cadena a lo largo de la ruta entre el transmisor y el receptor. Esta cadena tiene lugar tan pronto la sesión de RTP se establece. A continuación se presenta en qué casos utilizar los protocolos de calidad de servicio: (Wallingford, 2005)

Protocolo	CoS ó QoS	Cuando usarlo	Cuando no usarlo
802.1p	CoS	Segmento simple de red Ethernet	Usable Siempre
802.1q	CoS	Redes Ethernet privadas	Siempre
DiffServ	CoS	Redes enrutadas de alta capacidad	Redes con alto tráfico de voz, más que de datos
RSVP	QoS	Redes enrutadas de poco ancho de banda	Redes con alto tráfico de datos, más que de voz
MPLS	QoS	Redes de cajeros automáticos	En ningún tipo de red que no sea de éste tipo.

Tabla 4. Comparación QoS
(Wallingford, 2005)

II.4.10) MEJORES PRÁCTICAS PARA LA CALIDAD DE SERVICIO

Existen múltiples mecanismos de calidad de servicio, sin embargo es bueno seleccionarlos siguiendo una serie de recomendaciones de buenas prácticas, de las cuales se presentan las siguientes. (Wallingford, 2005)

II.4.10.1 ESCOGER LOS MEJORES ESTÁNDARES

- Múltiples estándares QoS pueden ser complementados entre sí, pero no solaparse. Usar MPLS, RSVP y DiffServ en una red de 300 nodos, aunque sea posible no es recomendable.
- No esperar que las políticas establecidas de QoS sean soportadas por todos los enrutadores o switches.
- Si se está manejando una gran organización y departamentos, asegurarse de que los equipos que se tienen cumplan con las políticas y protocolos asignados.
- Si se tiene una red que tiene 70% más voz que datos, no usar técnicas como DiffServ o 802.1p.
- Si la red es gigantesca y realmente ocupada, usar DiffServ.

II.4.10.2 USO CORRECTO DE LOS ESTÁNDARES

- En la configuración de DiffServ, clasificar el tráfico de Voz como EF (*Expedited Forwarding*), para que sean calificados en las colas como tráfico de prioridad.
- En la configuración de 802.1p, clasificar el tráfico IP usando prioridad de 5, debido a que si no los paquetes de voz tendrán la misma calificación que los de datos en las colas, lo que causará latencia.

II.4.10.3 CONSTRUIR LA RED A FAVOR DE LA VOIP

- Usar 802.1q VLAN y establecer distintas VLAN para voz o para datos.
- Asumir que cada enlace necesita un porcentaje adicional entre un 20% o 30% de ancho de banda para la señalización o protocolos de enrutamiento.
- Si se es capaz de manejar las colas en los enrutadores, usar colas de baja latencia.
- Usar enlaces rápidos. Se puede añadir ancho de banda, aunque no es una solución económica y muy poco elegante, es una manera de añadir QoS.
- No usar enlaces con velocidades menores a 128kbps.
- No usar redes inalámbricas para grandes cantidades de clientes VoIP.
- Evitar usar VPN en la sesiones VoIP a menos que sea absolutamente necesario.
- Usar troncales IP o circuitos digitales para conectarse a la red PSTN. Evitar POTS analógicos, eso puede agregar latencia al hacer la conversión análoga/digital.

II.4.10.4 TÉCNICAS DE CODIFICACIÓN DE VOZ QUE MEJOREN LA QOS

- Usar G.711 códecs lo más posible, tiene la forma de onda más resistente con un retraso insignificante.
- Algunos códecs ofrecen PLC (*Packet Loss Concealment*), usarlo para disminuir los problemas de calidad relacionados con pérdidas de paquetes, pero usarlo con moderación, ya que pueden agregar latencia.
- Para disminuir la latencia, decrecer el intervalo entre paquetes. El intervalo puede tan pequeño como 10ms, pero 20 es lo normal. Si es posible disminuir el uso de los *buffers* de *jitter*, evitando PLC.

- Evitar la transcodificación (conversión de digital a digital, de un códec a otro) si es posible. Si es absolutamente necesaria, usar equipos VoIP que soporten GSM.
- Si es eco es un problema, usar códecs que permitan su cancelación.
- Mantener la pérdida de paquetes Ethernet menor a 1%

II.5) ESTÁNDARES ABIERTOS

En la telefonía, los estándares abiertos garantizan que las centrales de diferentes fabricantes sean capaces de comunicarse entre sí. Los estándares abiertos son capaces de implementar un sistema con garantía de interoperabilidad. Por ejemplo, gracias a esta característica es que ASTERISK es capaz de conectarse a la red telefónica PSTN para realizar llamadas externas. Hoy en día existen múltiples servicios gratuitos privados para la comunicación de voz e incluso video mediante Internet de estándares cerrados que ofrecen soluciones limitadas, pero no son sistemas flexibles ni se ajustan las necesidades de cada corporación. Por eso se eligen este tipo de sistemas abiertos que gracias a la colaboración de millones de personas estos garantizan sostenibilidad y permiten que las comunidades sean dueñas de su propio desarrollo, pudiéndose ajustar a necesidades específicas, sin dejar de mencionar que son sistemas totalmente accesibles sin tener que incluir ningún costo para adquirirlos. (EscuderoPascual & Berthilson, 2006)

II.5.1) Sistema Operativo de libre distribución LINUX

El software libre como el sistema operativo LINUX puede llegar a ser confuso debido a las múltiples implementaciones que existen entre los varios tipos de licencias tales como GPL (*General Public License*), *Free Software*, *Open Source*, de dominio público. (Nivelo, 2010)

II.5.1.1 Características de Linux.

- Se distribuye su código fuente, lo que ocasiona que cualquier persona puede amoldarlo a sus necesidades específicas para resolver problemas o agregar alguna funcionalidad extra.
- Es desarrollado por millones de personas alrededor del mundo y es distribuido y consultado a través de la Internet, lo que permite un intercambio de ideas y un eficiente ciclo de desarrollo.
- Posee un amplio soporte para redes y comunicaciones, lo que lo hace muy atractivo para usuarios y empresas en el área.
- Es soportado por múltiples variedades de hardware lo que hace que se pueda correr en muchos tipos de plataformas, como PCs tradicionales, computadores Macintosh, entre otras muchas.
- Linux es capaz de admitir cualquier periférico como módems, impresoras, entre otros, gracias a que una vez instalado se añade al Kernel el nuevo controlador. Linux posee una gran interoperabilidad y no es limitado como otros sistemas. (Nivelo, 2010)

II.5.1.2 Distribuciones

En general existe una gran lista de distribuciones de LINUX y tiende a generar confusión. Esta lista sigue creciendo cada día. Aquí se presentan las distribuciones que generalmente se consideran las más extendidas a nivel mundial. Ubuntu, Lycoris y Xandros son las más adecuadas para aquellos que sin tener tanta experiencia pueden iniciarse en este mundo tan lleno de complejidades. En el otro lado se tiene a Gentoo, Debian y Slackware que son las más avanzadas, estas requieren de un conocimiento previo avanzado. Mandrake, Red Hat y SuSE tienen un nivel intermedio. Knoppix es un caso aparte, es una buena opción para empezar a aprender y probar, ya que funciona directamente desde el instalador y no es necesaria

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

una instalación completa. A continuación se muestra una tabla comparativa de las distribuciones (Nivelo, 2010) :

Distribución	Ventaja	Desventaja	¿Gratuito?	Descarga
Ubuntu	Excelentes recursos. Instalación sencilla	La versión estable no está actualizada	Si	www.ubuntulinux.org
Debian	Bien aprobado. Bien actualizado. Instalación sencilla	No tiene muchos paquetes	Si	www.debian.org
Mandriva	Buena interfaz gráfica. Enorme soporte	Es poco adaptable	Si	www2.mandriva.com
Red Hat	Muy usada.	Poco soporte	Si	Fedora.redhat.c
Gentoo	Fácil instalación, muy actualizada	Inestable para servidores con funciones críticas	Si	www.gentoo.org
Lycoris	Muy amigable. Parecido a Window	Requiere de una licencia para uso comercial	No	www.lycoris.org
Slackware	Muy estable. Ausente de fallos	Tediosa configuración	Si	www.slackware.org
Xandros	Excelente administración de archivos y otras utilidades	Es software propio	No	www.xandros.org
SuSE	Atención profesional. Fácil uso	Difícil de conseguir	No	www.novell.com

Tabla 5. Distribuciones
 LINUX (Nivelo, 2010)

II.5.2) Software para PBX de Código Libre

Existen varios software disponibles para implementar un PBX de forma libre. Estos son distribuidos sin costo alguno y son soportados por una gran red de usuarios, a continuación se describen los mas populares hoy en día (Nivelo, 2010)

II.5.2.1 GNU Bayonne

Es un servidor de telefonía GNU (*General Public License*) que ofrece una serie de servicios totalmente gratuitos. Tiene la particularidad de que es un muy escalable para su desarrollo independiente y posee un despliegue de soluciones para telefonías actuales y futuras.

II.5.2.2 FreeSwitch

Es una aplicación para telefonía en *Open Source* que es escrito en lenguaje C. Es el resultado de una programación especializada, construido desde cero y elaborado para aprovechar todas las bibliotecas de software existentes. FreeSwitch es capaz de hacer sistemas PBX en código libre, así como unir diferentes protocolos de señalización tales como SIP, H323, IAX2, LDAP, XMPP o Jingle. Este también se puede programar para utilizar la interfaz de Asterisk, Bayonne u OpenPBX.

II.5.2.3 Asterisk

Asterisk es uno de los softwares más utilizados a nivel mundial para la telefonía VoIP. Básicamente es un software que trabaja como central telefónica con capacidad para voz y es distribuido bajo licencia libre. Se trata de una central telefónica con múltiples características como buzón de voz, conferencias y distribución automática de llamadas que anteriormente eran muy poco accesibles y costosos. Es por esto que es muy raro no encontrar una compañía que lo use, Asterisk ha tenido una gran aceptación en el mundo empresarial. (Landívar, 2008)

Como cualquier PBX, se pueden conectar un número de teléfonos para hacer llamadas entre si e incluso conectar un proveedor de servicios VoIP o a una red PSTN mediante tarjetas electrónicas telefónicas FXS (*Foreign Exchange Station*) o FXO (*Foreign Exchange Office*) fabricadas por Digium u otros proveedores. Los usuarios pueden crear nuevas funcionalidades programando un *DialPlan* en el lenguaje de propio de Asterisk o añadiendo módulos ya escritos en lenguaje C o cualquier otro soportado por Linux. Estos módulos permiten extender su funcionalidad, estos módulos se encuentran en la carpeta: `/usr/lib/asterisk/modules/` y son archivos con extensión `.so`. Los módulos pueden ser controlados a través del archivo de configuración `modules.config`, aquí se le indica si carga o no un módulo específico con el comando `load` y `noload`. Asterisk fue desarrollado por Mark Spencer, de la empresa Digium. Actualmente es la principal empresa desarrolladora. Es compatible con una variedad de sistemas operativos, tales como MacOSX, Solaris y Microsoft Windows, aunque es mucho más compatible con su sistema original que es Linux. (Landívar, 2008)

Las características más relevantes de este sistema son:

- Contestación automática de llamadas
- Transferencia de llamadas
- Opción de cambio de estado
- Llamada en espera
- Contestación de llamada de forma remota
- Monitoreo, gestión y grabación de llamadas
- Buzón de voz
- Conferencias
- Colas de atención
- Identificador del llamante
- Fax

Los componentes de configuración de Asterisk se organizan por directorios, entre los más importantes se encuentran los descritos en la siguiente tabla.

Directorio	Descripción
/etc/asterisk	Aquí residen los archivos de configuración de asterisk
/usr/lib/asterisk/modules	Este directorio contiene módulos de
/usr/sbin	Aquí reside el binario de Asterisk
/var/log/asterisk	Contiene los logs de Asterisk
/var/lib/asterisk/agi-bin	Directorio donde residen los <i>scripts</i> AGI
/var/lib/asterisk/monhmp3	Carpeta que contiene archivos de música en espera
/var/lib/asterisk/sounds	Sonidos que Asterisk utiliza como <i>prompts</i> de voz
/var/spool/asterisk	Directorio donde Asterisk guarda archivos que genera producto de su funcionamiento como <i>voicemails</i> y
/var/run	Archivos con información de PIDs
/var/log/asterisk	Aquí residen los archivos de <i>log</i> de Asterisk como el /var/log/asterisk/full o el <i>log</i> de texto de CDRs

Tabla 6. Directorios Asterisk
(Landívar, 2008)

A pesar de que Asterisk es un gran software que tiene múltiples funcionalidades, no puede hacer todo el trabajo, uno de los paquetes de software que lo complementa se llama *Zapelt*. Fundamentalmente es un conjunto de *drives* para

controlar hardware telefónico como las tarjetas FXS que permiten conectarse a la red telefónica tradicional. Estos *drives* se comunican con Asterisk a través de un módulo llamado *chan_zap.so* que se configura a través de un archivo *zapata.config*. (Landívar, 2008)

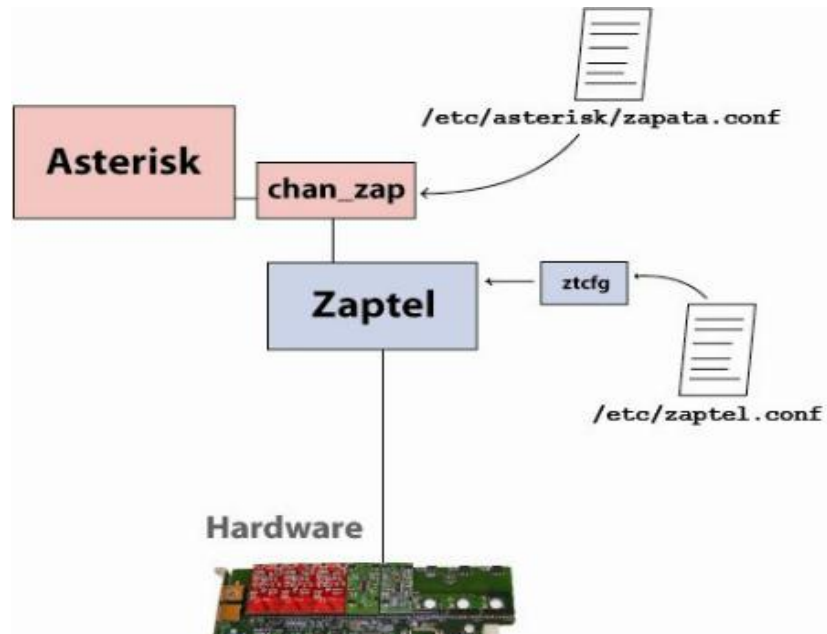


Figura 6. Proyecto Zapel
(Landívar, 2008)

II.5.2.4 Elastix

Es una distribución libre de comunicaciones unificadas basada en gran parte sobre cuatro programas de software muy importantes como *Asterisk*, *Openfire* y *Postfix*. Este puede ser configurado para trabajar como VoIP PBX, fax, mensajería Instantánea, email, entre otros. Posee una interfaz gráfica fácil de usar que es una aplicación completa de administración del servidor de comunicaciones. En su mayor parte en lenguaje PHP. Este fue creado y en la actualidad es mantenido por la compañía *PaloSanto Solutions*. Fue liberado por primera vez en el año 2006 bajo la licencia libre GPL versión 2. Elastix posee una variedad muy grande de aplicaciones en llamadas, este puede trabajar con protocolos de señalización tales como SIP, ZAP,

IAX y H323, soporta los códecs ADPCM, G.711, G.7231, G.726 y G.711, soporte de conexión hacia red PSTN (Landívar, 2008).

II.6) Tecnología de Aplicaciones Móviles para Clientes VoIP

En la actualidad existen muchísimos clientes para equipos celulares que soportan la tecnología de VoIP. Básicamente es un software que permite realizar llamadas VoIP a través de planes de datos de telefonía celular y tecnología WiFi, estos viajan sobre enlaces IP en todo el recorrido. Casi siempre requieren como mínimo una conexión de datos de velocidades equivalentes a 3G y un software cliente que trabaje en un equipo celular en particular, que a veces puede presentar límites en el número de teléfonos que se pueden marcar, como por ejemplo lo son *SPYPE Mobile* y *Fring*; pero este tipo de softwares es limitado. Estos software soportan llamadas a través de conexiones WiFi en aeropuertos, cafés, etc; permitiendo hacer llamadas VoIP y tradicionales a la vez. Algunos sólo soportan llamadas sobre WiFi pero no a través de planes de datos, que en este caso las llamadas fuera del alcance de WiFi se tienen que hacer por el medio tradicional celular, como por ejemplo lo es cliente el TruePhone. Las posibles combinaciones que existen entre el software, los equipos celulares y métodos de transporte son casi ilimitadas. Algunos servicios por ejemplo, usan clientes en equipos celulares con tecnología VoIP pero las llamadas viajan a través los enlaces telefónicos móviles tradicionales. iSkoot es uno de los software **móviles clientes** que realizan el transporte VoIP por medio de Internet, específicamente haciendo llamadas dentro de la plataforma de Skype. El cliente trabaja sobre redes de datos celulares para establecer las llamadas, y las conecta con la red de Skype a través de una llamada tradicional desde el móvil. Este servicio por supuesto es pago, es llamado SkypeOut y Skypeln, que es como si se estuviera llamando desde un computador. iSkoot por ejemplo, no carga por conectarte a Skype y sólo utiliza la red de datos. Otro ejemplo del uso de este tipo de software es *Mino Wireless*, es una empresa que utiliza el

software cliente para establecer llamadas, aunque también se puede acceder al servicio desde el explorador del equipo móvil obteniendo el mismo resultado. Mino inicia la llamada desde el móvil y busca el número que se está marcando, cualquiera que sea, luego los conecta y funciona como un intermediario, combinando redes de telecomunicaciones tradicionales con infraestructuras IP para llamadas de larga y corta distancia, a un precio menor. Otras empresas como *GranCentral Mobile*, que ofrecen el servicio de llamadas a través de portales web con la misma flexibilidad de la VoIP, pero las llamadas pueden empezar y terminar en redes públicas o privadas. Estos han venido evolucionando a medida que ha evolucionado la tecnología VoIP, que es prácticamente nueva en las telecomunicaciones. Existen muchos tipos de estos softwares, sin embargo en el caso particular del presente proyecto solo se necesitan aquellos que puedan adaptarse a los móviles de los usuarios de la compañía y al *softswitch* de software libre que se elija. (Poe, 2007)

A continuación se presentan los softwares clientes para VoIP más destacados con sus respectivas características.

BRIA	Es un <i>software</i> móvil de la compañía CounterPath que trabaja bajo el protocolo SIP, está disponible para los Sistemas Operativos: Android v2.1, Apple IOS v4.3 en iPad y iPhone. Es un <i>software</i> de licencia propia, por lo que es pago, trabaja con encriptación. Puede funcionar con una conexión Wi-Fi o 3G con los <i>códecs</i> : G.711, G722, iLC, G.729 y GSM. Adicionalmente tiene correo de voz, identificación de llamadas, registro, audio conferencia, distintos tonos de llamadas y temas. (CounterPath)
MOBILE DIALER	Es uno de los <i>software</i> más usados para este tipo de aplicación de VoIP y es propietario de la compañía, por lo que es pago. Trabaja bajo velocidades de redes de 3G, 4G. GRPS y Wi-Fi. Soporta distintas plataformas incluyendo Symbian de Nokia, Windows Mobile, Blackberry, Mac iOS y Android. Tiene una amigable interfaz que permite realizar llamadas VoIP de una manera muy fácil. Este incluye agenda de usuarios, información sobre datos consumidos, puede pasar a través de cualquier firewall o bloqueo de red, trabaja detrás de las direcciones NAT (resuelve el problema NAT), trabaja bajo protocolo SIP y soporta los <i>códecs</i> : g729, AMR, GSM y g711. (Mobile Dialer)

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

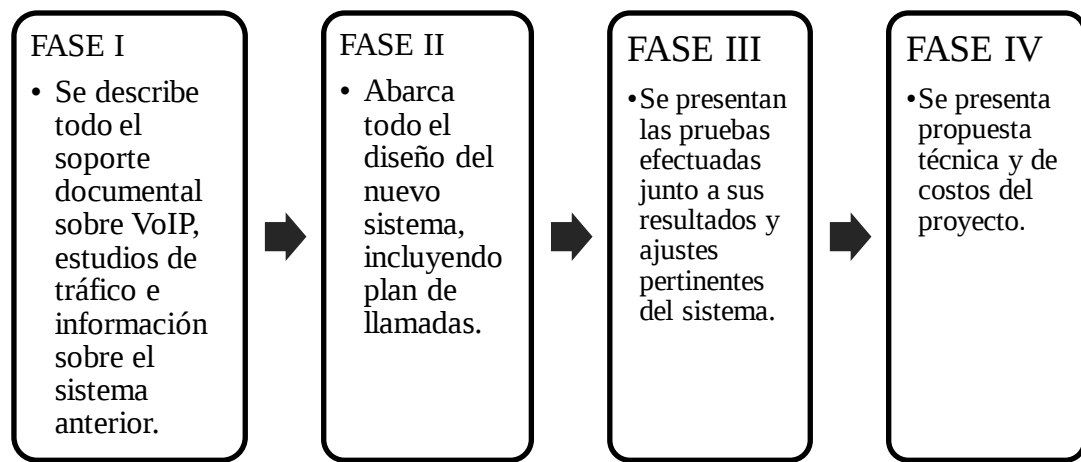
1LEGCALL	Es un <i>software</i> que permite realizar llamadas usando soluciones VoIP. Al principio fue diseñado para teléfonos Nokia, pero hoy en día tiene la capacidad de soportar teléfonos Android y Blackberry. Trabaja con redes Wi-Fi y conexiones iguales o mayores a 3G. Permite registro de llamadas y funcionalidades limitadas. Trabaja con el <i>códec</i> g729. (1LegaCall)
AUDIOCODES SOLUTIONS	Es un <i>software</i> que permite conectividad VoIP a una gran variedad de teléfonos inteligentes móviles, computadores y clientes web (sin necesidad de realizar la instalación local en el teléfono). Funciona con redes de GSM a velocidades mayores o iguales a 3G o con una simple conexión a Wi-Fi permitiendo una variedad de funcionalidades como agenda de contactos y puede utilizar la información de teléfono para asociar los contactos. Trabaja con la mayoría de los <i>códecs</i> más populares, incluyendo el G.722, G.729 y G.77 y posee características de QoS como cancelador de eco, Buffers Adaptivos y constructores de pérdida de paquetes. Posee una gran interoperabilidad permitiéndole trabajar con la mayoría de los <i>softswitch</i> y <i>gateways</i> disponibles. Es de licencia propia. (Audio Codes)
LINPHONE	Linphone es un cliente de VoIP móvil <i>Open Source</i> , este permite realizar llamadas, video y mensajería instantánea a través de la señalización SIP, el cual esta descrito en el RFC3261. Es compatible con sistema operativo Android, Mac iOS y Blackberry. Entre sus funcionalidades están, llamadas simultáneas con el gestor de llamadas. Trabaja con los <i>códecs</i> G711, GSM, G722, AMR, iLBC y de video tales cual MPEG4, VP8, entre otros. Soporta IPV6, Tonos DTMF, cancelación d eco, compatible con problema de direcciones NAT. Posee una gran interoperabilidad y modularidad debido a ser un <i>software</i> libre. Posee una amigable interfaz gráfica. (Linphone)

Tabla 7 Clientes Móviles VoIP
Fuente; Elaboración propia

CAPITULO III

METODOLOGIA

Se desarrolla una metodología dividida en fases para la realización del presente trabajo, las cuales son las siguientes, **Fase I: Investigación Documental y Levantamiento de Información.** En esta se incluyen los puntos: 1, 2, 3, 4. **Fase II: Diseño.** Puntos: 5 y 6. **Fase III: Pruebas y Ajustes,** puntos: 7 y 8. **Fase IV: Desarrollo de Propuesta,** punto 9.



1. Investigación Documental.
2. Análisis de la infraestructura que posee la compañía actualmente.

Se evaluará el sistema telefónico actual que posee la compañía examinando los equipos para determinar si cumplen los requisitos para ser usados en el nuevo sistema y qué equipos se necesitarán. Así como también se verificará qué tipos de servicios posee la compañía, anchos de banda de los enlaces, entre otros.

3. Análisis del tráfico de llamadas.

Se realizará el análisis aproximado del tráfico de voz hacia las distintas operadoras y llamadas internacionales en un período específico de tiempo.

4. Investigación sobre documentación necesaria para el diseño de todo el sistema, incluyendo manuales de programación de centrales, *Softphone* y configuraciones de equipos.

5. Diseño de la configuración más adecuada

Se plantearán distintas soluciones, dependiendo del análisis previamente hecho se escogerá la mejor configuración para el sistema, **optando por una opción que optimice el uso de los recursos y garantice una buena calidad de servicio teniendo en cuenta los posibles costos generados.**

6. Planificación del centro de llamadas, según políticas de la compañía y previo estudio de llamadas.

7. Configuración de un Sistema Piloto (prototipo de pruebas).

Se evaluarán distintos factores y configuraciones para priorizar la voz.

8. Desarrollo de pruebas en Sistema Piloto.

Se realizará probando llamadas entre terminales remotos de la compañía evaluando de esta manera la configuración de las centrales.

9. Diseño de propuesta técnica específica con los costos asociados.

Se evaluarán opciones técnicas en cuanto a componentes y equipos necesarios para el Sistema de Telefonía IP resultante. Se establecerá una propuesta de costos asociados con los componentes tecnológicos específicos de la solución.

CAPITULO IV

DESARROLLO

A continuación se describe la información detallada de cómo se lograron cada uno de los puntos expuestos en la metodología y su relación con los resultados obtenidos. También se comentan situaciones en las cuales se encontraron ciertas dificultades y cómo según algunos criterios fueron solventadas tomando las mejores decisiones posibles. La información es dividida en fases de la siguiente manera:

IV.1) FASE 1: INFORMACIÓN DOCUMENTAL Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Esta fase comprende básicamente todo el soporte de información documental para poder realizar el proyecto y su diseño, comprendiendo los primeros 4 puntos de la metodología propuesta.

Punto 1: Investigación documental

Para el primer punto se desarrolló una investigación sobre todos los aspectos que cubren la tecnología VoIP, se abarcaron todos los fundamentos de la tecnología, infraestructura y arquitectura, mecanismos de calidad de servicio, protocolos, tecnologías de telefonía móvil VoIP, entre otros, acudiendo a libros, tesis de grado y artículos en Internet. A medida que se fue desarrollando el proyecto se fue anexando información, como por ejemplo los Esquemas de Colas en la sección 4 (Calidad de Servicio) del marco teórico, que se necesitó al hacer el diseño del sistema.

Punto 2: Levantamiento de información

Se realizó una investigación sobre la infraestructura de red que posee actualmente la compañía desarrollando un cuestionario el cual fue respondido por el

Sr. Joan García, Analista de Sistemas de la empresa, abarcando toda la información concerniente al desarrollo del proyecto. Adicionalmente se incluyeron los equipos de comunicación actuales posiblemente involucrados con algunas características haciendo una visita a la empresa y recogiendo datos, y se dibujó una topología modelo de la red de la empresa con los actuales planes de datos arrendados por las compañías proveedoras de servicio, representando sus dos sedes. En el cuestionario se evalúan distintos aspectos sobre la estructura e infraestructura de la compañía, los dos primeros puntos son las especificaciones de la LAN en la cual se abarcan aspectos como cuántos switches y/o *hubs* posee, cuáles enlaces son *Fast Ethernet*, si existe alguna VLAN definida, entre otros, con el fin de diseñar un sistema adecuado a las condiciones de la red interna actual y saber si se necesita alguna configuración o componente adicional. Luego se especifica el mismo estudio pero para la red externa WAN, en la cual se tocan parámetros importantes como las velocidades actuales arrendadas de los enlaces hacia Internet, cómo acceden los usuarios de una sede a otra e información relevante referente. A continuación se encuentra especificada información sobre los servidores actuales y sus sistemas operativos, información importante a la hora de asignar hardware por ejemplo a la PBX y conocer cuántos servicios maneja la red interna de la compañía. Luego está la información sobre los usuarios, cuántos se encuentran activos, qué sistemas operativos y dispositivos usan, para poder dimensionar el diseño de la manera más óptima. Más adelante se encuentra información de sistemas activos tales como *firewall*, antivirus o cualquier otro que pueda opacar los protocolos a implementar en el diseño del sistema. De último se pregunta sobre cómo es el sistema telefónico actual con el objetivo de obtener una calidad de sistema telefónico mejor o equivalente al anterior. En esta fase también se investigó sobre los manuales y equipos actuales posiblemente involucrados en el proyecto, correspondiendo con el punto 4 de la metodología, sin embargo los manuales definitivos para el sistema planteado y los modelos de los equipos se evalúan y presentan en la evaluación técnica-económica.

Punto 3: Análisis de tráfico

En el análisis de tráfico, punto 3, se desarrolló una metodología propia para poder manejar los datos que proporcionó la compañía con el objetivo de determinar un número de líneas para realizar las llamadas externas. Debido a que en algunos casos estaban incompletos, se calcularon promedios y otra serie de parámetros extrapolados a partir de los datos disponibles. Estos datos incluyen el tráfico de llamadas salientes de 12 teléfonos ubicados en la sede de Caracas más uno ubicado en la sede de El Tigre, los cuales poseen distintos planes corporativos de servicios de telefonía móvil con MOVISTAR. Adicionalmente se realizó una encuesta sobre las llamadas realizadas por 7 usuarios desde los teléfonos fijos de CANTV en la misma sede de Caracas desde el día 23/8/2011 al 30/8/2011 comprendiendo una semana, se encuentra un ejemplo de estas encuesta en el Anexo A. A continuación se presentan los pasos seguidos y los resultados obtenidos en la elaboración del Análisis.

1. Los datos proporcionados fueron de una factura de MOVISTAR desde el día 7/5/2011 al 13/5/2011, abarcando una semana. Se extrajo sólo la información del tráfico de las llamadas y se anexó en un documento en Excel para su posterior gestión.

2. Luego se anexaron los datos correspondientes a la encuesta de teléfonos CANTV al documento de Excel.

3. Se separó el tráfico en **5 renglones**, que corresponden a las operadoras móviles:

- MOVISTAR
- MOVILNET
- DIGITEL

- Llamadas a teléfonos fijos (locales y nacionales)
- Llamadas internacionales.

4. Se filtró las llamadas internas correspondientes a los números de los usuarios de la compañía, para obtener sólo el tráfico de las llamadas externas. Esto se hizo en el reglón de MOVISTAR de cada usuario debido a que esta es la operadora de los teléfonos de los usuarios.

5. Se anexaron las listas de llamadas realizadas desde el exterior (*Roaming*) a cada reglón correspondiendo con su destino.

6. Se calculó el porcentaje de llamadas externas con respecto a las internas (entre los mismos usuarios) en casos en los cuales se tenía toda la información de las llamadas de los usuarios, para luego promediar estos porcentajes y obtener un porcentaje final el cual se encuentra expuesto en la **tabla 17** del Capítulo Resultados. Luego éste fue utilizado para filtrar las llamadas internas de los usuarios en los cuales no se tenían los detalles de llamada pero sí el número de minutos consumidos en el mes. Éste número se dividió entre 4 para obtener un número aproximado en una semana y luego se multiplicó por el porcentaje final para filtrar las llamadas internas, obteniendo un número de llamadas externas aproximadas.

7. Luego se procedió a calcular el **promedio de la duración de las llamadas** por reglón. A cada usuario se le calculó el promedio de minutos por llamada dividiendo los minutos totales entre las llamadas realizadas para después utilizar estos promedios (**tabla 18**) y obtener un promedio final por reglón. Los usuarios sin detalles no fueron tomados en cuenta.

8. Se extrajeron los datos de llamada de los usuarios con detalles de horas, minutos y segundos de cada llamada realizada. Se agruparon todas las llamadas de todos los usuarios por renglones y a su vez éstos se separaron por días.

9. Con los datos agrupados por días, se sumó el número de llamadas por hora de todos los días (**tabla 19**) y el total se dividió entre 7 para obtener un promedio de llamadas por hora. Luego se eligieron las 3 horas con mayor congestión por reglón con el fin de dimensionar la red en el peor escenario posible y **se promedió conjunto a las llamadas por hora** obtenidas de los resultados de la encuesta (las cuales fueron calculadas dividiendo el número total de llamadas primero entre 5 días hábiles y luego entre 8 horas, correspondientes a la jornada laboral), esto dio un promedio total de llamadas expuesto en la **tabla 20**.

10. A continuación se utilizó la siguiente fórmula para calcular el tráfico telefónico total del sistema medido en erlangs por cada reglón:

$$\left(\frac{\text{Llamadas por hora} * \text{Promedio de Duración}}{60} \right) * \text{Número de usuarios}$$

Una vez obtenidos los resultados fueron colocados en la **tabla 21**.

11. Se calculó cuantas líneas se iban a necesitar por reglón. Tomando en cuenta un grado de servicio de 2 % y según la tabla de Erlang-*B* se determinaron una serie de líneas (canales) por cada reglón.

12. Luego de esto, en los datos agrupados por días se procedió a contar por cada reglón y cada día cuántas llamadas máximas coincidían evaluando en un rango de 3 minutos, que es el promedio de duración de llamada total, esto con el objetivo de determinar cuál había sido el mayor número de usuarios llamando simultáneamente por reglón y se colocaron los resultados en la **tabla 22**. No se colocó el tráfico de las llamadas internacionales debido a que eran muy pocas y no coincidían los usuarios, para las cuales se determinó que se usará sólo una línea. Al final se calcularon las líneas externas finales descritas en la **tabla 23** del Capítulo V.

Punto 4: Revisión de documentación de equipos y evaluación de *softswitch*

Se realizó una revisión de la documentación de los diferentes equipos que se evaluaron en el punto 2, sólo se incluyeron los manuales de los equipos administrables, investigando en Internet y consultando con profesores expertos en el área. Se realizó una evaluación de los *softswitches* disponibles en el mercado de software libre, de los cuales se eligieron los 5 más destacados y con mayor soporte, esto con la finalidad de escoger el software más idóneo para el diseño del sistema final. Se evaluaron según 7 criterios basados en características técnicas propias de cada *softswitch* colocándolas de forma resumida en la **tabla 24**, incluyendo ventajas y desventajas. Se colocaron también las funcionalidades de cada uno de ellos con el fin de poder evaluar cuáles poseen requerimientos para el desarrollo del proyecto. Adicionalmente se incluyó una **tabla (25)** con características propias del sistema requeridas para la instalación del PBX en SERVIMECA, C.A. Este estudio se encuentra en el Capítulo V. Se investigó de la misma manera sobre los tutoriales de instalación y configuración de los *softphones*, *softswitch* y sistema operativo elegidos, lo cuales se encuentran en el Anexo B.

IV.2) FASE II: DISEÑO

En esta fase se describe el diseño del sistema y la planificación del centro de llamadas, abarcando los puntos 5 y 6 de la metodología.

Punto 5: Etapas de diseño

Para el diseño del sistema, punto 5, se dividió en 3 etapas abarcando toda la topología, en cada una se evaluaron distintas opciones soportándose en el levantamiento de información y marco teórico, punto 1 y 2. Posteriormente se escogió una configuración por etapa respondiendo a criterios propios del proyecto como calidad de servicio, software libre, escalabilidad, entre otros y optimizando los

recursos. Para el desarrollo de éste también fue necesario el apoyo de profesores expertos, brindando consejos para garantizar una máxima calidad de servicio.

Punto 6: Diseño del Plan de Llamadas

En el punto 6, se realizó una visita al Contralor General de la empresa, el Sr. Gustavo Salomón, con el cual se proyectó un **plan de llamadas** para cada tipo de usuario dentro de la compañía, siguiendo políticas propias, limitando a algunos usuarios para evitar futuras congestiones en enlaces y reduciendo costos, tomando en cuenta posibles escenarios como por ejemplo el soporte de telefonía VoIP a invitados a la compañía. Éste se encuentra en el Capítulo V.

IV.3) FASE III: PRUEBAS Y AJUSTES

Esta fase incluye los puntos 7 y 8 de la metodología. Se evaluaron distintos tipos de calidad de servicio para los enlaces de la compañía, se realizaron pruebas de las configuraciones de las centrales y de los protocolos aplicados para luego realizar algunos ajustes.

Puntos 7 y 8: Desarrollo de pruebas

Se planteó un escenario en el cual se probaron los protocolos de calidad de servicio sobre los enlaces más críticos de la red, dado que en el levantamiento de información para el Diseño del Sistema se encontró que la problemática de ancho de banda se presentaba sólo en los enlaces hacia Internet. Al evaluar las opciones para realizar el ambiente de pruebas, se comparó entre llevarlas a cabo en un ambiente real o hacer las pruebas de forma virtualizada. Debido a la limitación de los recursos, hacerlo de forma física representaba grandes costos en hardware ya que se necesitaban varios componentes nuevos, por otro lado la virtualización permitía ejecutar bajo software los mismos componentes sobre un mismo hardware físico, con

lo que se minimizaban costos y se optimizaba el control sobre la plataforma, por lo que fue elegida como opción.

La aplicación de Calidad de Servicio es un proceso global y emplearla en capa 2 permite sin duda alguna mejora, no sólo porque las tramas de voz no permanecen en colas, si no porque protege el tráfico de voz contra otro tipo de tráfico (datos); sin embargo en los enlaces críticos representados por las conexiones a Internet no participa ningún protocolo QoS de capa 2 ya que éstos son enlaces externos y no se pueden controlar. Debido a esto y para simplificar la complejidad estructuralmente hablando, el ambiente de pruebas se focalizó sólo en protocolos de QoS en capa 3. Además los nodos de borde de la topología son enrutadores, por lo que resulta más conveniente aplicar la priorización del tráfico en el nivel de red o capa 3.

Se configuró el escenario planteado y se fueron realizando las pruebas respectivas a medida que se iban agregando nuevas configuraciones. En cada configuración se realizaron pruebas preliminares para verificar que se había realizado correctamente, midiendo por ejemplo el ancho de banda de una llamada con el códec G.711. Conseguir los programas adecuados para ejecutar las pruebas no fue tarea fácil debido a que muchos eran programas propietarios y el software libre es prioridad en este proyecto, sin embargo luego de una búsqueda extensiva se lograron conseguir los programas apropiados y acordes con el Diseño del Sistema, por ejemplo se había conseguido un generador de tráfico acorde pero la licencia se agotó a los dos días, por lo que se decidió congestionar la red transmitiendo un archivo de gran tamaño entre los terminales varias veces simulando una situación de congestión en el enlace.

Al principio los terminales iban a estar en máquinas virtuales simulando dos terminales de la compañía, pero el computador que corría todos los programas tenía el procesador muy copado y la calidad de las llamadas de prueba se veía afectada, por

lo que se decidió que los terminales de prueba se implementarían sobre la propia maquina física y otro conectado remotamente, como se muestra en el Capítulo V. De esta manera el procesador podía trabajar cómodamente.

Luego de haber culminado las pruebas, se procedió a realizar un análisis de cada una de ellas, corroborando el funcionamiento de los mecanismos de Calidad de Servicio en los enlaces de la compañía bajo un ambiente de *stress* manteniendo una buena calidad de voz basada en parámetros medidos y calidad de las llamadas evaluadas por el *softphone*. Como consecuencia de los resultados obtenidos en las pruebas se incluyeron algunos ajustes en el Diseño del Sistema.

IV.4) FASE IV: DESARROLLO DE PROPUESTA

En esta fase se evaluaron distintos parámetros técnicos y de presupuesto para la escogencia de diferentes equipos y escenarios posibles anteriormente planteados en el Diseño del Sistema, en la cual se llegó a una elección, se estableció una comparación de costos con respecto al sistema anterior y se llegó a una propuesta definitiva culminando así el último punto de la metodología.

Punto 9: Propuesta de técnica y de costos

La propuesta fue evaluada utilizando los montos cancelados a MOVISTAR en la misma factura aportada por la empresa usada en el Análisis de Tráfico y los precios aproximados que se gastan mensualmente en telefonía fija (CANTV), considerando los mismos minutos consumidos en un lapso de un mes en el nuevo escenario de telefonía IP (**tabla 36**).

Para poder obtener los minutos consumidos de los teléfonos fijos CANTV, se procedió a extraer de las encuestas realizadas las llamadas realizadas por semana hacia cada operador, luego estas fueron multiplicadas por el promedio general de minutos por llamadas calculado previamente en el Análisis de Tráfico (**tabla 18**) y

posteriormente multiplicados por 4 para obtener los datos promedios en un mes. Estos fueron sumados a los minutos consumidos de la factura de MOVISTAR y se anexaron en la **tabla 36**.

$$(llamadas/semana) * (minutos promedio/llamada) * (4 semanas/mes)$$

CAPITULO V

RESULTADOS

V.1) ANALISIS Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

La siguiente información corresponde al levantamiento realizado en la sede de Caracas de la compañía, comprende el cuestionario de especificaciones técnicas de la estructura e infraestructura, topología presente y una breve reseña de los equipos actuales.

Cuestionario Levantamiento de Información del Departamento de Sistemas.

ID Descripción	Valor
¿Es la red LAN basada en Switches Totalmente ? (1=Si, 0=No)	1
¿La red LAN es una Mezcla de Switches y Hubs ? (1=Si, 0=No)	0
¿La red usada está conformada por múltiples lugares (Diferente Lugar / Ciudad)? (1=Si, 0=No)	1
¿En cuántos sitios se encuentran distribuidos los segmentos LAN a incorporar al sistema?	2

Tabla 8 Especificación de la LAN
Fuente: Elaboración propia

ID Descripción	Valor
¿Posee Ethernet Switchado en su red ? (1=Si, 0=No)	1
¿Posee FastEthernet Switchado en su red ? (1=Si, 0=No)	1
Posee ATM en su red ? (1=Si, 0=No)	0
¿Cuántos Segmentos Switchados Ethernet tiene?	3
¿Cuántos Segmentos FastEthernet tiene?	29
¿Cuántos Segmentos ATM tiene?	0
¿Soportan sus dispositivos SNMP ? (1=Si, 0=No)	0
¿Tiene algún túnel VPN configurado? (1=Si, 0=No)	1
¿Tiene VLANs definidas en su red ? (1=Si, 0=No)	0
Especifique el número de VLANs que tiene definidas	0
¿Cuántos Segmentos Compartidos tiene en la red ?	0

Tabla 9 LAN
Fuente: Elaboración propia

**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**

ID Descripción	Valor
¿Soportan sus dispositivos WAN SNMP ? (1=Si, 0=No)	0
¿Soportan sus dispositivos WAN RMON ? (1=Si, 0=No)	0
¿Usan los enrutadores interfaces de conexión diferentes a RS-232, RS-449, V.35 ? (1=Si, 0=No)	0
¿Usan los enrutadores protocolos diferentes a X.25, Frame Relay, ISDN, E1, PPP, IP, IPX ? (1=Si, 0=No)	0
¿Cuántos Enlaces WAN tiene la red ?	0
¿Se encuentran todos los enlaces accesibles desde un mismo lugar ? (1=Si, 0=No)	0
¿En cuántos sitios se encuentran distribuidos los enlaces WAN?	0
¿Quién es su proveedor de Servicios de Telecomunicaciones? (CANTV ABA, NERVICOM)	N/A
Capacidad de su enlace de Internet (Velocidad): (CCS: 2048 Bajada / 512 Subida, El Tigre: Enlace Satelital 512Mbps)	N/A
¿Administra Ud. sus dispositivos de comunicación? (1=Si, 0=No)	0
¿Cuantos usuarios se conectan por el enlace de Internet?	22
¿Cómo evalúa Ud. la rapidez de su enlace (deficiente 0, adecuado 1, muy eficiente 2)?	1
¿Existen usuarios que se conectan remotamente a la empresa? (1=Si, 0=No)	1

Tabla 10 Especificación WAN
Fuente: Elaboración propia

ID Descripción	Valor
¿Cuántos Servidores Tiene en su Red ?	3
¿Cuántos Servidores van a ser involucrados desde el punto de vista de Sistema Operativo ?	1
¿Cuántos Servidores con Sistema Operativo Windows NT, Windows 2000 Server o Advance Server serán involucrados?	1
¿Cuántos Servidores con Sistema Operativo SUN Solaris serán involucrados?	0
¿Cuántos Servidores con Sistema Operativo SCO Unix serán involucrados ?	0
¿Se encuentran todos los servidores en un mismo lugar ? (1=Si, 0=No)	0
¿En cuántos sitios se encuentran distribuidos los servidores ?	2

Tabla 11 Especificación Entorno de Servidores
Fuente: Elaboración propia

ID Descripción	Valor
¿Cuantos equipos estaciones de trabajo tiene en su red?	22
¿Cuántos usuarios aproximadamente usan Windows 9x en su red ?	0
¿Cuántos usuarios aproximadamente usan Windows NT en su red ?	0
¿Cuántos usuarios aproximadamente usan Windows XP en su red ?	13
¿Cuántos usuarios aproximadamente usan Windows Seven en su red ?	9
¿Cuántos usuarios aproximadamente usan Linux en su red ?	1
¿Cuántos usuarios aproximadamente usan MAC en su red ?	0
¿Qué porcentaje de los usuarios están involucrados?	90
¿Se encuentran todos los usuarios en un mismo lugar ? (1=Si, 0=No)	0
¿En cuántos sitios se encuentran distribuidos los usuarios?	2

Tabla 12 Especificación Entorno de Usuarios
Fuente: Elaboración propia

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

ID Descripción	Valor
¿Utiliza en su red LAN protocolos diferentes de IP, IPX, NetBios, AppleTalk, SNA ? (1=Si, 0=No)	0
¿Cuántos Protocolos tiene trabajando sobre la red LAN ?	0

Tabla 13 Especificación Entorno de Protocolos
Fuente: Elaboración propia

ID Descripción	Valor
¿En cuántos lugares diferentes tiene el servicio de telefonía tradicional PSTN?	2
¿Posee alguna línea de telefonía tradicional con CANTV? ¿Cuántas?	2
¿Posee una central telefónica? (1=Si, 0=No)	1
¿Cuántos teléfonos o extensiones activas posee?	7
¿Cuántas líneas instaladas posee fuera de la sede principal?	0

Tabla 14 Exploración Sistema Telefónico Actual
Fuente: Elaboración propia

La información recaudada en éste cuestionario será necesaria para la elaboración del Diseño del Sistema, el cual se encuentra descrito en el apartado V.4.

A continuación se encuentra una serie de informaciones tomadas a partir de la visita a la empresa, que no fueron incluidas en el cuestionario:

ANTIVIRUS UTILIZADO	AVG Antivirus 2011
FIREWALL	Window Firewall.
POLÍTICAS DE SEGURIDAD	Actualmente sólo se cuenta con las políticas predefinidas por el Firewall y el Antivirus. Se posee un servidor de seguridad, pero no está habilitado.
EQUIPOS	(3) Equipos computacionales no están en uso.
VPN	El túnel VPN está configurado entre los (2) enrutadores LINKSYS entre Caracas y El Tigre.
CENTRAL TELEFÓNICA	La central telefónica es híbrida, posee funcionalidades para VoIP pero actualmente sólo se usa de forma tradicional.
ESPECIFICACIÓN DEL ENLACE SATELITAL	Compañía; NERVICOM C.A. Servicio: VSAT Banda Ancha Satelital. Velocidades: <i>Downlink</i> = 1024 kbps <i>Uplink</i> : 256 kbps. Dirección IP fija

Tabla 15 Observaciones
Fuente: Elaboración propia

TOPOLOGÍA ACTUAL

La figura 7 que se encuentra representa un modelo de la topología de red de la empresa. Ésta constituye las dos sedes de la compañía, una en Caracas y la otra en El Tigre, con todos los equipos actuales y como están conectados entre sí. La sede de Caracas cuenta con una LAN de 16 usuarios y la de El Tigre con 6, dando un total de 22 usuarios.

Adicionalmente se encuentran representados los enlaces hacia Internet respectivos. Para la sede de Caracas se cuenta con el proveedor de servicios CANTV proporcionando acceso tipo ADSL con plan de ABA, el cual cuenta con velocidades de 2048 kbps para el enlace *downlink* y de 512 kbps para el *uplink*. En el caso de El Tigre se tiene a NERVICOM como proveedor de servicios, brindando un enlace de tipo satelital con velocidades de 1024 kbps para el enlace *downlink* y 256 kbps para el *uplink*.

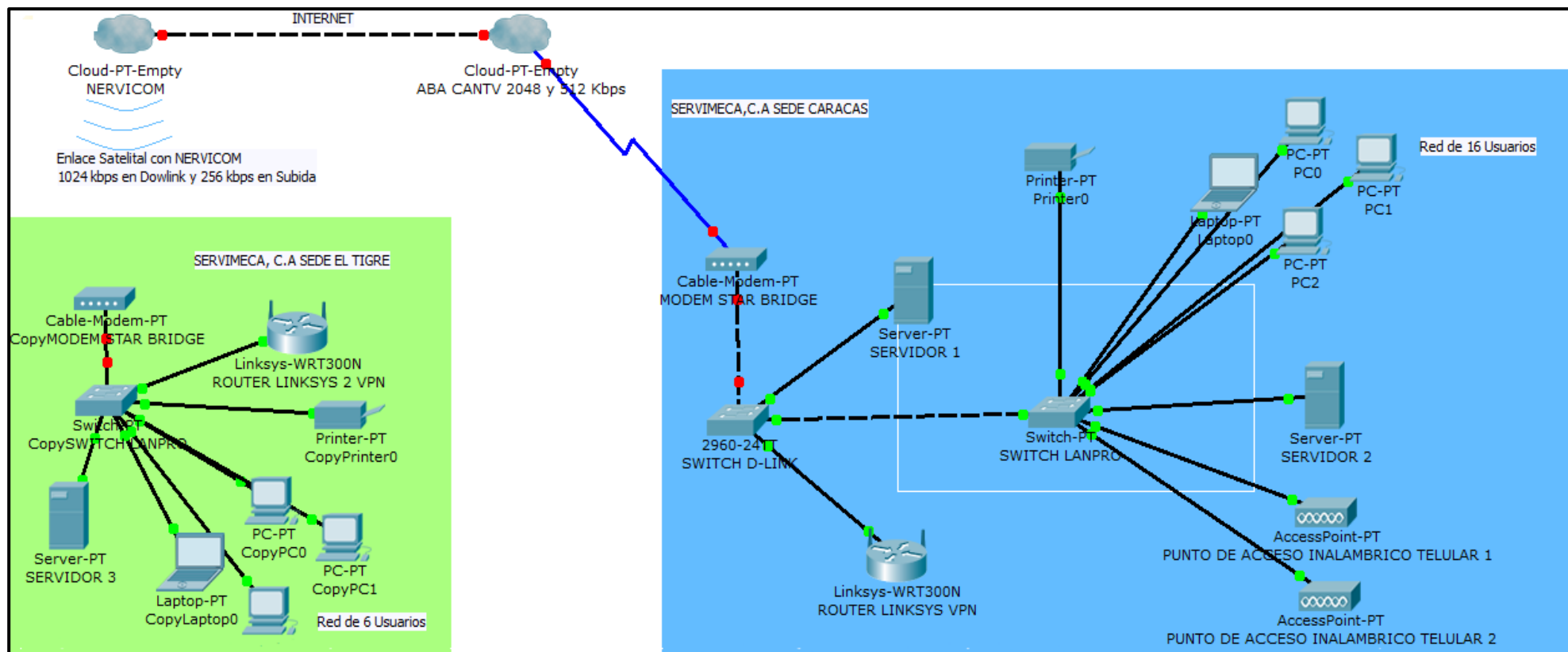


Figura 7 Topología Actual
Fuente: Elaboración propia

EQUIPOS DE COMUNICACIÓN ACTUALES

A continuación se encuentran los modelos, marcas, cantidades y características correspondientes a los equipos de comunicación. Adicionalmente se presentan fotografías en la figura 8 de éstos.

Equipo	Cantidad
Switch de 8 puertos D-LINK Ethernet DE-1008D no administrable	1
Modem CANTV STAR BRIDGE	1
Modem NERVICOM Satelital	1
Switch General de 24 puertos LANPRO LP-SW2400 FastEthernet ,no administrable	2
Punto de Acceso Inalámbrico TELULAR	2
Central Telefónica TDA 100 Híbrida IP-PBX	1
Enrutadores LINKSYS Wireless G WRT-54G	2
Computadores Desktop equivalentes a un Intel doble núcleo, 250Gb HD 2Gb Memoria o de capacidad superior.	18

Tabla 16 Equipos de Comunicación Actuales

Fuente: Elaboración propia



Figura 8 Equipos de Comunicación Actuales

Fuente: Elaboración propia

V.2) ANÁLISIS DE TRÁFICO

A continuación se encuentran los resultados obtenidos en las tablas de la metodología descrita en el Capítulo IV. Debido a cuestiones de confidencialidad de la compañía, los datos originales de llamadas proporcionados están en un archivo en formato Excel, que podrá ser visualizado sólo por personas autorizadas pero no se encuentran anexo.

LEYENDA: **N/A:** No Aplica, **MT:** MOVISTAR, **MN:** MOVILNET, **D:** DIGITEL, **L:** Línea Local, **I:** Internacional, **TC:** Teléfono Celular, **TF:** Teléfono Fijo.

Usuario	MT (%)
TC1	83.1
TC2	50.0
TC3	53.6
TC4	33.3
TC10	56.4
TC11	85.6
TC12	71.3
TC13	88.9
Promedio Total	58.0

Tabla 17 Cálculo de Promedio de Porcentaje de Llamadas Externas para MOVISTAR sobre totales
Fuente: Elaboración propia

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

Usuario	MT (min)	MN (min)	D (min)	L (min)	I (min)
TC1	2	1	2	2	0
TC2	4	1	2	2	1
TC3	4	2	2	4	7
TC4	3	6	4	2	N/A
TC5	N/A	1	N/A	N/A	N/A
TC6	N/A	8	5	2	N/A
TC7	N/A	2	2	N/A	N/A
TC8	N/A	2	2	2	N/A
TC9	N/A	4	2	N/A	N/A
TC10	3	4	2	7	N/A
TC11	3	5	2	4	2
TC12	2	N/A	N/A	N/A	N/A
TC13	3	2	1	3	N/A
Promedio	4	3	2	3	3

Tabla 18 Cálculo de Promedio de Duración de llamadas por Operador
Fuente: Elaboración propia

Total por Semana					Por Hora			
Operador por Hora	MT (#)	MN(#)	D(#)	L(#)	MT(#)	MN(#)	D(#)	L(#)
8:00 AM	23	10	2	15	3.3	1.4	0.3	2.1
9:00 AM	11	8	7	12	1.5	1.1	1.0	1.7
10:00 AM	55	9	10	10	7.9	1.3	1.4	1.4
11:00 AM	38	12	6	9	5.4	1.7	0.9	1.3
12:00 PM	37	5	4	13	5.3	0.7	0.6	1.9
1:00 PM	35	6	6	5	5.0	0.9	0.9	0.7
2:00 PM	51	9	4	5	7.3	1.3	0.6	0.7
3:00 PM	29	29	5	4	4.1	4.1	0.7	0.6
4:00 PM	27	7	8	10	3.9	1.0	1.1	1.4
5:00 PM	33	5	4	1	4.7	0.7	0.6	0.1
6:00 PM	26	18	8	1	3.7	2.6	1.1	0.1
7:00 PM	23	12	3	10	3.3	1.7	0.4	1.4

Tabla 19 Cantidad de Llamadas por Hora
Fuente: Elaboración propia

Hora Pico	MT (#)
10:00 AM	7.9
11:00 AM	5.4
2:00 PM	7.3
Llamadas por Hora desde Teléfonos Fijos	0.8
Promedio total de Llamadas por Hora	5
Hora Pico	MN(#)
11:00 AM	1.7
3:00 PM	4.1
6:00 PM	2.6
Llamadas por Hora desde Teléfonos Fijos	0.5
Promedio total de Llamadas por Hora	2
Hora Pico	D(#)
10:00 AM	1.4
4:00 PM	1.1
6:00 PM	1.1
Llamadas por Hora desde Teléfonos Fijos	0.7
Promedio total de Llamadas por Hora	1
Hora Pico	L(#)
8:00 AM	2
9:00 AM	1.7
12:00 PM	1.9
Llamadas por Hora desde Teléfonos Fijos	2.7
Promedio total de Llamadas por Hora	2

Tabla 20 Promedio de Llamadas por Hora
Fuente: Elaboración propia

MT (e)	MN (e)	D (e)	L (e)
3.40	1.36	0.50	1.44

Tabla 21 Cálculo de Tráfico Telefónico Total por Operadora en Erlangs
Fuente: Elaboración propia

Llamadas Simultáneas	MT (#)	MV(#)	D(#)	L(#)
	5	3	2	3

Tabla 22 Llamadas Simultáneas
Fuente: Elaboración propia

Movistar	Promedio Duración en Minutos : 4
Líneas a Usar	Usuarios Simultáneos
Una línea	1
Dos líneas	2
Tres líneas	3
Cuatro líneas	4
Cinco líneas	5
Movilnet	Promedio Duración en Minutos : 3
Líneas a Usar	Usuarios Simultáneos
Una línea	1
Dos líneas	2
Tres líneas	3
Digitel	Promedio Duración en Minutos : 2
Líneas a Usar	Usuarios Simultáneos
Una línea	1
Dos líneas	2
Local	Promedio Duración en Minutos : 3
Líneas a Usar	Usuarios Simultáneos
Una línea	1
Dos líneas	2
Tres líneas	3
Internacional	Promedio Duración en Minutos : 3
Líneas a Usar	Usuarios Simultáneos
Una línea	1

Tabla 23 Líneas por Operadora (Tomando en cuenta un Grado de Servicio = 2%)
Fuente: Elaboración propia

. En la tabla 23 se encuentran las líneas externas finalmente calculadas que son necesarias para que los usuarios con el privilegio de llamadas externas puedan establecer conversaciones libremente mediante la contratación de planes con las diferentes operadoras. Las demás tablas están explicadas detalladamente en la metodología aplicada que se encuentra en el apartado IV. 1

Aunque Erlang-B es el modelo probabilístico que mejor representa el tráfico telefónico, pueden haber variaciones respecto al tráfico real medido en un intervalo

de tiempo, por lo que se compararon los datos obtenidos por el método Erlang-B (tabla 21) y los datos de llamadas simultáneas (tabla 22), sin embargo el modelo acertó y se obtuvieron la misma cantidad de líneas que de llamadas simultáneas encontradas. No obstante este número de líneas depende también del diseño del sistema final y de la propuesta técnica y de costos.

V.3) EVALUACIÓN DE *SOFTSWITCH*

A continuación se muestra la evaluación realizada de los distintos tipos de *softswitch* en software libre disponibles en el mercado, cuáles son sus características más relevantes y basado en una serie de criterios propios del programa y de la Compañía se escoge el *softswitch* más adecuado. Al final luego de la evaluación y el análisis se obtiene un *softswitch* definitivo para el diseño.

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa

SERVIMECA, C.A.

Softswitch Libre	Ventajas	Desventajas	Protocolos de Señalización	Sistemas Operativos	Funcionalidades	Códecs
GNU Bayonne	Confiable, no está sujeto a errores. Escalable	Muy poco soporte técnico. Configuración Difícil. Limitado de Aplicaciones.	SIP, H.323	BSD GNU/LINUX MACOS X WINDOWS	Grabación y Reproducción de Llamadas. Síntesis de Voz	G.711 G.729 G723.1 G.726
FreeSwitch	Compatible con otros PBX. Gran variedad de Códecs. Estable, escalable y extensible. Buen Soporte.	Necesidad de conocer de protocolo XML. Falta de soporte en comunidad hispana	SIP, H323, IAX2 SCCP, Google Talk	AURORAUX (LLVM+CLANG/GMAKE) SUN SOLARIS 10 UNIX (SUN STUDIO) FREEBSD (GMAKE) MAC OS X (GMAKE) RHEL/CENTOS LINUX DEBIAN/UBUNTU GNU/LINUX WINDOWS (NATIVO)	Conferencias. Respuesta de Voz Interactiva. Síntesis de Voz. Reconocimiento de voz. Dial Plan	PCMU – G.711 µ-law PCMA – G.711 A-law G.722 G.722.1 G.722.1c G.726 G.726 with AAL2 packing G.729 GSM CELT iLBC DVI4 (IMA ADPCM) BroadVoice SILK SpeeX.
GNU Gate Keeper	Compatible con otros PBX. Gran gamma de equipos y protocolos compatibles. Autenticación. Facilidad de instalación. Gran Soporte en varios idiomas. Posee interfaz gráfica. Buenas estadísticas en QoS. Soporte de direcciones NAT (H.460.18)	Solo puede ser instalado vía Telnet por el puerto. 7000. Trabaja con un solo protocolo de señalización. No reconoce su propia zona para dividir el tráfico internacional.	H.323	LINUX/FREEBSD, MAC OS X, WINDOWS XP/2000/VISTA/WINDOWS 7	Video Conferencia. Extensible. Soporta método transversal para direcciones NAT. Encriptación SSH. Soporta IPV6. Soporta SNMP. Calidad de Servicio. Registro de llamadas. Control de Acceso de llamadas. SQL. SNMP	G.711 G.729 G723.1 G.726 G.722 G.728

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa

SERVIMECA, C.A.

<i>softswitch</i> Libre	Ventajas	Desventajas	Protocolos de Señalización	Sistemas Operativos	Funcionalidades	Códecs
Asterisk	Compatibilidad de gran gamma de tarjetas FXS/FXO. Gran soporte a nivel mundial en muchos idiomas. Fácil instalación de paquetes. Seguridad, poco vulnerable. Escalable. Compatible con otros PBX. Flexibilidad, se puede amoldar a los requerimiento. Posee capacidad para Interfaz gráfica FreePBX	Se requiere de tiempo de configuración y conocimiento técnico de Linux.	SIP, H.323, IAX, IAX2, Google Talk, Jingle, MGCP, SCCP (Cisco), Skype, UNISTIM	LINUX/BSD MAC OS SOLARIS	Programación de alarmas, despertadores. Listas negras. Detalles de llamadas. Estadísticas. Ruteo de llamadas, Monitorización silenciosa de llamadas. Tarjetas de llamadas. Envío y Recepción de Fax a terceros. Distinción de tono de llamada. Acceso interactivo al directorio. Conversión de protocolos y códecs en tiempo real. Extensiones móviles. Mensajería SMS. Detección de silencios. Llamadas grupales. Buzón de Voz. Notas de voz. Música en Espera. Gestión de colas. Desvío de Llamadas. Usuario Ocupado. Grupo de llamadas. Contestar llamada de teléfono distinto. Gestión de llamada s según horario. Discriminación de llamadas. Función Sígueme. Transferencia de llamada. Síntesis de Voz. Grabación de llamada.	ADPCM G.711 (Ley A y u) G.719 G.722.1 Polycom G.722 G.722.1 Annex Polycom G.723.1 G.726 G.729a GSM iLBC Linear LPC-10 Speex
Elastix	Basado en Asterisk Fácil Uso. Interfaz gráfica sencilla y amigable. Modularidad. Estabilidad.	No tan extenso como Asterisk. Solo se pueden configurar lo que esta preestablecido en la interfaz gráfica.	SIP, IAX, H323, XMPP	LINUX	Fax. Mensajería Instantánea. Correo Electrónico. Interfaz Web. Grabación de llamadas. Síntesis de Voz. DHCP. Reporte de llamadas. Buzón de voz. Colas de llamada. Seguridad.	ADPCM G.711 (ley A y u) G.722 G.723.1 G.726 G.729 GSM iLCB

**Tabla 24 Evaluación *softswitch*
Fuente: Elaboración propia**

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

<i>softswitch</i>	Robusto Soporte Técnico Online	Encriptación	Escalable	Interfaz Gráfica	Conexión Google Talk	Plan de Llamadas	Códec G.711
GNU Bayonne			✓				✓
FreeSwitch		✓	✓		✓	✓	✓
GNU Gate Keeper	✓	✓		✓		✓	✓
Asterisk	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Elastix		✓	✓	✓		✓	✓

Tabla 25 Evaluación *softswitch* según requerimientos del proyecto
Fuente: Elaboración propia

ELECCIÓN:

Al terminar la investigación y completar las tablas, se observó que todos cumplían con las funciones esenciales de poder gestionar comunicaciones IP incluyendo la salida hacia la red PSTN, cada uno es compatible con sistemas de software libre (LINUX) y todos soportan el códec G.711, que generalmente es el más compatible en *Softphones* y teléfonos IP . Se determinó que **GNU Bayonne** no cuenta con un buen servicio técnico debido a que no es tan popular y contiene muy pocas funcionalidades, de las cuales tampoco cuenta con cifrado de llamadas para la seguridad propia de la compañía. **FreeSwitch** es una buena opción, tiene gran variedad de códecs soportados y admite el protocolo de señalización de *Google Talk*, que se evalúa como una buena opción en el proyecto para llamadas externas, sin embargo no tiene muy buen soporte en español y es posible que una futura implementación el personal encargado del mantenimiento del sistema no tenga conocimientos de inglés técnico para el soporte online, tampoco posee una interfaz gráfica para facilitar la instalación. **GNU GateKeeper** tiene la particularidad de que es sumamente compatible si se tratara de un proyecto de distintas plataformas VoIP, una gran variedad de funcionalidades útiles incluyendo cifrado y una interfaz gráfica, por lo que pudiera ser una opción, así sólo se trabaje con una sola plataforma PBX, sin embargo es limitado en escalabilidad para un futuro crecimiento de la compañía.

Se comparó la plataforma *Elastix* con *Asterisk*, donde la primera no es más que una distribución del mismo *Asterisk*. Se determinó que *Elastix* es una buena opción si se tratara de un proyecto que no exija unas características específicas, que no es el caso, éste posee una amigable interfaz gráfica para su configuración y unas características interesantes, sin embargo es limitado. *Asterisk* es el software PBX principal característico, del cual han surgido muchas distribuciones y sigue siendo el pionero en la instalación de *softswitch* en un sistema con características particulares, debido a su modularidad, interoperabilidad y popularidad existen hoy en día muchas funcionalidades, de las cuales sólo se muestran en la tabla las más relevantes y ofrece un extenso soporte en muchos idiomas en todo el mundo. Al evaluarlo desde el punto de vista del proyecto, se observó que posee la función de **Listas de Llamadas y Accesos Restringidos**, la cual encaja perfectamente con uno de los objetivos del proyecto, que es crear un plan de llamadas según políticas específicas de la compañía. Además de toda la variedad de características útiles para el proyecto que posee, es compatible con *Google Talk*, y posee una interfaz gráfica opcional como lo es *FREEPBX*, por lo que se determinó que ASTERISK es el *softswitch* más adecuado para el sistema.

V.4) DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño del sistema consiste en el planteamiento de distintas soluciones de configuración según la información obtenida de la infraestructura actual y los requerimientos propuestos. Se hace referencia a cierto hardware y software que son buenos candidatos para su escogencia, sin embargo la decisión definitiva se realiza en el análisis técnico-económico al final del proyecto. Esto se hace dividiendo el esquema topológico en distintas **etapas**; en cada una de ellas se determinarán distintas opciones de configuración tomando en cuenta criterios como QoS, costos, compatibilidad, escalabilidad, entre otros, con el fin de garantizar un sistema de comunicaciones VoIP para SERVIMECA, C.A, estable, confiable, escalable y lo más óptimo posible. Los apartados descritos a continuación describen este diseño inicial de la solución, cuya topología se presenta finalmente en la Figura 9.

V.4.1) ETAPA DE INFRAESTRUCTURA Y TERMINALES

Esta etapa del diseño abarca toda la parte de acceso a la red, esto incluye los teléfonos celulares, teléfonos fijos, teléfonos de tipo *softphone*, servidores a utilizar, enrutadores y switches.

V.4.1.1 TELEFONOS IP Y MOVILES

Se plantean distintas soluciones para la escogencia de los teléfonos IP, cada una de ellas tiene que poseer 3 características esenciales para el correcto funcionamiento. La primera es el que el teléfono IP maneje protocolo SIP ya que se determinó que el *softswitch* a utilizar será la plataforma de ASTERISK. La segunda característica es que admita el códec G.711 ley A, el cual es el códec candidato para ser escogido para la red local del sistema (la elección definitiva se hará en la etapa lógica, presentada más adelante). La tercera característica es que admita protocolo DHCP para poder asignarle una dirección IP de forma automática.

- Utilizar ATAs (*Analog Telephone Adapter*)

Se plantea para la conexión de los teléfonos analógicos actuales en la compañía con la red IP. Con la existencia de la central híbrida TDA-100, se conecta mediante una tarjeta especial hacia la plataforma de Asterisk logrando que la central funcione como adaptador ATA, la cual cumple con los requerimientos. Otra opción es adquirir equipos ATAs individuales para cada teléfono analógico que se posea en la compañía, estos tienen que cumplir con los requisitos antes previstos.

- Utilizar *Softphones* en los computadores

Debido a que se cuenta con una red tal que cada usuario posee un computador personal. El software a seleccionar deberá cumplir con los requerimientos, añadir características como supresión de silencio y que sea de software libre. Para los usuarios de la sede de El Tigre que actualmente no tienen ningún tipo de teléfono, se les instalará un *softphone* también.

- Utilizar teléfonos IP físicos

En el mercado se pueden conseguir una gran variedad de estos, que cumplan con estas características.

ELECCIÓN:

Al evaluar las distintas opciones se determinó que por cuestiones de costos e igualdad de beneficios se utilizarán los adaptadores ATAs conectados a los switches respectivos de cada sede descritos más adelante y éstos a su vez a los teléfonos analógicos, éstos transformarán estas comunicaciones al mundo IP, además tienen que contar con características de etiquetado QoS en capa 2 y opcionalmente capa 3. La alternativa de utilizar la central TDA-100 también es una buena opción pero para un futuro crecimiento de la empresa puede quedar limitado su uso debido a que es

una central analógica y la empresa tiene intenciones de migrar completamente a comunicaciones IP. Adicional a esto, para mayor comodidad a los usuarios se instalará y configurará en cada computador un *softphone*. La tercera opción queda descartada ya que representa un costo innecesario.

Es importante resaltar que adicional a la escogencia de la configuración, la movilidad tiene una gran importancia en las redes de hoy en día, por lo que se instalará un software cliente en los equipos móviles de la compañía, un gran candidato para la escogencia es el *softphone* de software libre *LINPHONE*.

V.4.1.2 SERVIDOR *SOFTSWITCH*

Debido a que la compañía posee (3) equipos computacionales en desuso y con especificaciones técnicas acordes a al sistema implementado, se escogen (2) de estos como opción para la instalación del *softswitch*. Se instalará el sistema operativo DEBIAN v. 6.0.3 i386 en los dos servidores. Luego de la instalación, se hará la descarga del sistema ASTERISK con interfaz gráfica FREEPBX, ya escogido previamente en la evaluación de *softswitch* sobre el sistema DEBIAN, descargando el software para luego instalarlo. Cada servidor será instalado en una sede, uno en Caracas y el otro en El Tigre (específicamente en uno de los puertos del switch, ver *Figura 9*). Esto con el fin de poder manejar el tráfico local de El Tigre internamente y no tener que depender de un servidor de Caracas, no ocupando así innecesariamente el ancho de banda del satélite.

V.4.1.3 ENRUTADOR Y SWITCH

Será necesario un cambio topológico con la inclusión de un enrutador y un switch con características específicas, las cuales son descritas con detalle y soportadas en el siguiente apartado.

V.4.2) ETAPA DE ENLACE

Esta etapa abarca todo el diseño de los enlaces contenidos en la red, incluyendo los satelitales, acceso a Internet vía ADSL, enlaces locales de las sedes, accesos troncales, cuellos de botella, entre otros.

En los siguientes apartados se realiza el cálculo de tasa de bit para el G.711 en enlaces locales y con el G.729 para enlaces de salidas a Internet de la topología descrita en la figura 7.

V.4.2.1 ENLACE LOCAL TERMINAL-SWITCH LANPRO CCS y EL TIGRE

1 Llamada establecida representa 2 flujos, y la tasa de bit unidireccional del códec G.711 es de 90.4kbps con la cabecera IP, por lo que la tasa de bit para una llamada será de: $2 * 90.4 \text{ kbps} = 180.8 \text{ kbps}$. El enlace *FastEthernet* tiene aproximadamente 100Mbps Full Dúplex, por lo que la mayor parte del enlace queda disponible para otras aplicaciones.

V.4.2.2 ENLACE LOCAL SWITCH LANPRO-SWITCH D-LINK CCS

Este enlace en particular representa un posible cuello de botella, debido a que todas las llamadas de los usuarios ocuparán este canal para poder salir hacia Internet. Al presentarse la situación crítica, que todos los usuarios estén hablando al mismo tiempo, la tasa de bit necesaria se multiplica por los 16 usuarios, quedando ésta: $16 * 180.8 \text{ kbps (G.711)} = 2892.8 \text{ kbps}$, agregándole un 30% de redundancia (política recomendada por profesor experto para cálculos de este tipo, dando redundancia para señalizaciones, protocolos de enrutamiento): $2892.8 \text{ kbps} * 0.30 = 867.84 \text{ kbps}$; $2892.8 \text{ kbps} + 867.84 \text{ kbps} = 3760.64 \text{ kbps}$. Por lo que queda aproximadamente un 96% del enlace disponible para el uso de otras aplicaciones al ser de tipo

FastEthernet. Ocurre la misma situación en los enlaces SWITCH-MODEM en la sede de Caracas y en la de El Tigre (ver Figura 7) debido a que también son *FastEthernet*. Es importante resaltar que se denota cómo “situación crítica” ya que todos los usuarios están usando el canal a la vez, por lo que el ancho de banda consumido es máximo.

V.4.2.3 ENLACE SALIDA INTERNET CCS

Se posee un plan ADSL comercial con 2048 kbps en sentido *dowlink* y 512kbps en sentido *uplink*. (Se usará en este enlace el códec G.729 que emplea una tasa de bit de 34.4 kbps por conversación en sentido unidireccional).

Se presentan dos escenarios posibles:

1er escenario: Llamadas externas de la red local salientes a través de Internet. En este caso, la situación crítica se presenta cuando los 16 usuarios están realizando una llamada usando el enlace ADSL (hacia afuera de la red o hacia El Tigre). Para el códec G.729, la tasa de bit es de 34.4kbps y por conversación: 68.8kbps, si todos los usuarios hablan a la vez: $16 \times 68.8 = 1100.8 \text{ kbps}$, agregándole un 30% de redundancia (política recomendada para cálculos de este tipo de cálculos): $1100.8 \text{ kbps} \times 0.30 = 330.24 \text{ kbps}$; $1100.8 \text{ kbps} + 330.24 \text{ kbps} = 1431.04 \text{ kbps}$. Al dividirlo entre dos para obtener la tasa unidireccional se obtiene: $1431.04/2 = 715.52 \text{ kbps}$.

2do escenario: Llamadas externas de la red salientes a través puertos FXS/FXO. En este caso, las llamadas externas serán realizadas a través de éste tipo de puerto por líneas analógicas conectadas directamente a la PBX, por lo que no será necesario el uso del ADSL si no sólo en los casos que la llamada sea interna a la red. La situación crítica se presenta cuando 6 usuarios de Caracas establezcan una conversación con los 6 usuarios de El Tigre, lo que representa una tasa de bit: 6×68.8

kbps = 412.8 kbps + 0.3 * 412.8 kbps (redundancia) = 536.64 kbps, finalmente se divide por flujo bidireccional, obteniendo una tasa = 268.32 kbps.

Para cualquiera de los dos casos se observa que para el enlace *downlink* no existe problema de ancho de banda. En el 1ero, se utiliza en su totalidad el enlace *uplink*, sin embargo éste caso crítico es hipotético. Dependiendo del escenario escogido en la propuesta técnica y de costos, éste número de llamadas simultáneas será limitado debido a costos del códec G.729 y el Plan de Llamadas definido por políticas de la compañía. Es importante resaltar que se busca que el sistema posea una escalabilidad para el futuro crecimiento de SERVIMECA, C.A por lo que se hace notorio que al haber mayor cantidad de usuarios irá creciendo la necesidad de ancho de banda, es una de las razones obvias para la escogencia del G.729 en los enlaces hacia Internet (borde de la red), disponer ancho de banda adicional.

Se planteó la solución de tratar con los proveedores de servicios para aplicar QoS a nivel de capa 3 para etiquetar y priorizar los paquetes de voz salientes hacia la red de Internet, pero se realizaron investigaciones y ninguna de las dos redes de los ISP's soporta este tipo de mecanismos, sin embargo más adelante en la **Etapas de Configuración Lógica** se plantean distintos tipos de mecanismos QoS.

V.4.2.4 ENLACE SATELITAL INTERNET EL TIGRE

Se posee un plan de Internet comercial de 1024 kbps *dowlink* y 256 kbps en *uplink*. Es importante resaltar que éste tipo de enlaces satelitales son susceptibles a condiciones ambientales tales como lluvia, humedad, nubosidad, entre otras, lo que puede ocasionar un retardo o disminución de la velocidad en las transmisiones.

Al obtener una situación crítica de los 6 usuarios hablando simultáneamente, la tasa de bit unidireccional previamente calculada será de: 268.62 kbps. De igual manera, éste número de llamadas será evaluado dependiendo de los costos ocasionados por el uso del códec G.729.

ELECCIÓN

Se determinó que se efectuarán algunos cambios en la topología actual, debido a simplificación de la red y poder garantizar QoS en los cuello de botella, aplicando protocolos tales como 802.1q (VLAN) y 802.1p para la capa 2 (enlaces locales de la red) mediante switches capacitados con estas tecnologías y enrutadores que posean protocolos y técnicas como *Traffic Shaping* y esquemas de cola en capa 3 para la salida del tráfico de voz en los enlaces hacia Internet de las dos sedes, ya que los ISPs no cuentan con soporte de etiquetado.

En el caso del enlace dedicado terminal-switch LANPRO, éste será sustituido en las dos sedes por uno capaz de realizar etiquetado de tramas en capa 2 aplicando los estándares IEEE 802.1q y 802.1p.

Para el enlace local Switch LANPRO-Switch D-LINK CCS, ya no será necesario tener los dos switch actuales, el switch D-LINK será sustituido por un enrutador capaz de etiquetar y separar el tráfico en capa 3 para su posterior salida a Internet, por lo que existirá un enlace troncal entre el nuevo enrutador y el nuevo switch; éste al tener interfaces de tipo *FastEthernet* no tendrá problemas según los cálculos realizados. El enrutador LINKSYS (ver topología, Figura 7) quedará para cumplir con las funciones que posee actualmente.

Para la sede de El Tigre se escogerá una configuración similar, se colocará un enrutador en la salida hacia el enlace satelital con las mismas características de QoS.

En las dos sedes, los enlaces locales seguirán siendo de tipo *FastEthernet*, por lo que los cálculos realizados para el códec G.711 se mantendrán igual.

La nueva topología quedará de la siguiente manera:

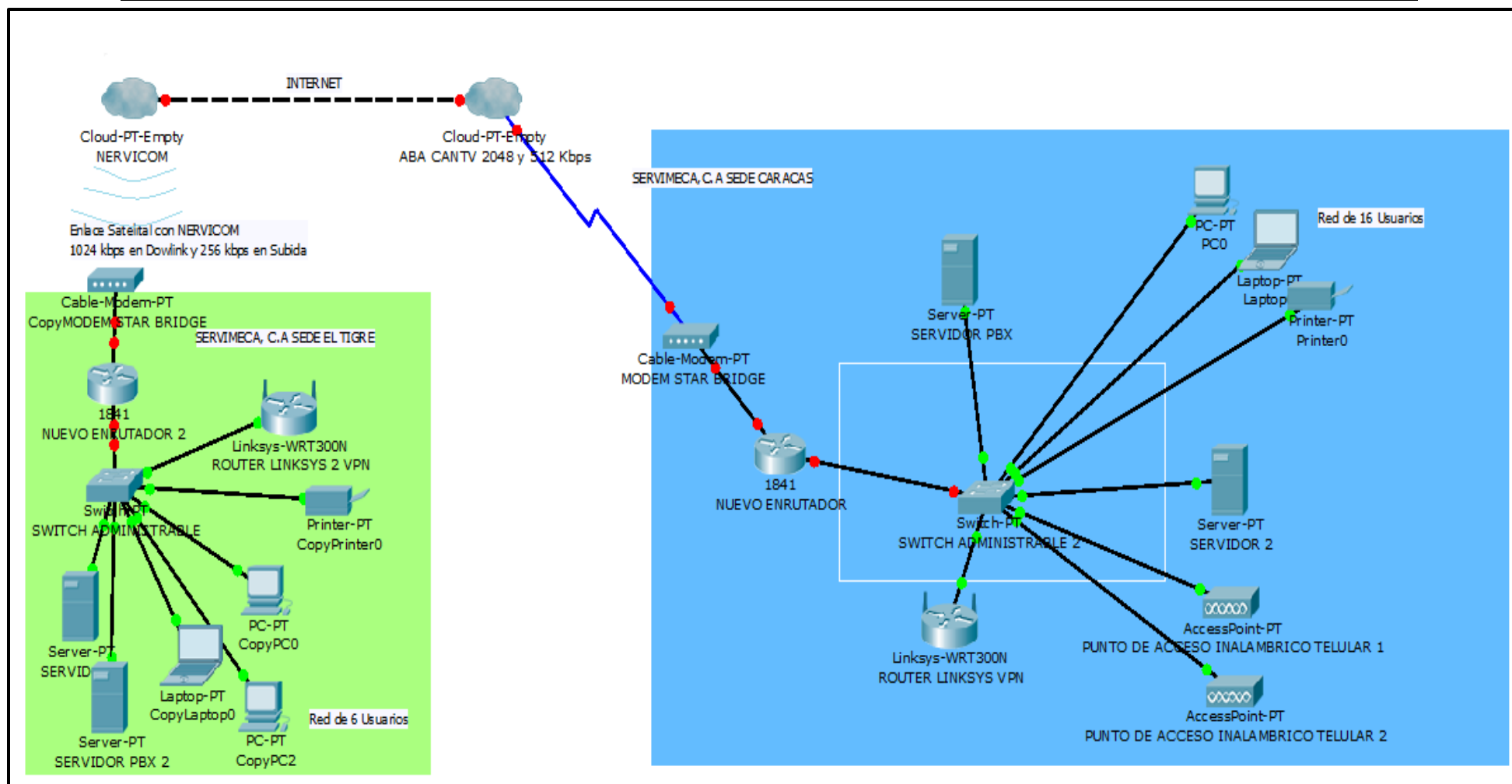


Figura 9 Nueva Topología
Fuente: Elaboración propia

V.4.3) ETAPA DE CONFIGURACIÓN LÓGICA

En esta etapa se abarca toda la configuración necesaria para la infraestructura de tipo lógica, incluyendo configuración de enlaces VPN (en caso de ser necesarios), configuración de VLAN, Calidades de Servicio QoS, direccionamiento, entre otros.

V.4.3.1 SELECCIÓN DEL CÓDEC

De toda la familia de códecs, se evalúan dos opciones debido a la compatibilidad con el hardware y software usados y que funcionan perfectamente para la transmisión de VoIP. El primero de ellos es el G.729, es el predilecto usado en comunicaciones VoIP debido a su baja tasa de bit de 34.4 kbps que se logra gracias a la compresión de la voz, pero con la limitante de que este tipo de códec no es de software libre, si no que requiere de un licenciamiento especial, se consigue para implementaciones libres para su uso no comercial, sin embargo resulta muy útil para un futuro crecimiento de la compañía disminuyendo tasa de bit para los cálculos previamente realizados en la Etapa de Enlace. El códec G.711 es el nativo de las redes digitales modernas de teléfonos, posee una tasa de bit de 90.4kbps por canal unidireccional de conversación, una forma de onda mucho más consistente, tiene poco retraso y es de fácil acceso (para el caso de este proyecto, la ley A). Ofrece también una gran calidad debido a que no realiza compresión de datos, es altamente compatible y es de software libre, por lo que no requiere de licenciamiento. Como el proyecto es basado en software libre, se determina que se usará el códec G.711 para todos las comunicaciones de voz dentro de la red local privada, ya que se cuenta con la infraestructura adecuada y suficiente ancho de banda y se usará el códec G.729, por cuestión de anchos de banda de los enlaces en los bordes de las redes y futuro crecimiento del sistema (escalabilidad). Es importante resaltar que al cambiar de un códec a otro se debe realizar una **transcodificación** lo que adhiere una latencia aproximada de 20ms, pero es poco comparado con el gran beneficio que trae cambiar de códec, de igual manera la latencia común es mitigada con los protocolos de QoS

en los bordes. El número de llamadas simultáneas quedará limitado por el costo de la licencia del códec, sin embargo esto será evaluado más adelante en la propuesta técnica y de costos.

V.4.3.2 DIRECCIONAMIENTO IP

Para la planificación de las direcciones IP, se utilizó el rango de la red clase privada A 10.0.0.0, para evitar confusiones en una futura planificación debido a que el direccionamiento de la red de datos actual es la red clase C 192.168.0.0. Esto es posible gracias a que se utilizará tecnología VLAN, con la cual se separará el tráfico de voz del de datos en capa 2.

La red 10.0.0.0 se dividió en dos sub redes, una para la sede de Caracas y otra para la sede de El Tigre.

Red	Máscara	Primera	Última	Broadcast
10.0.0.0	/23	10.0.0.1	10.0.1.254	10.0.1.255
10.0.2.0	/23	10.0.2.1	10.0.3.254	10.0.3.255

Tabla 26 Direccionamiento
Fuente: Elaboración propia

Con el esquema propuesto, quedarán 510 direcciones posibles para cada sede, para un futuro crecimiento de la infraestructura e invitados.

V.4.3.3 IEEE 802.1Q VLAN y QoS

Será creada una VLAN exclusiva para el uso de VoIP y se configurará en los switches que van directamente a teléfonos y computadores, en el enlace troncal entre los switch y los enrutadores. Esta permitirá dividir el tráfico de datos y voz en redes separadas lógicamente en un mismo enlace físico, por lo que tiene un esquema de direccionamiento distinto. El proceso se realiza etiquetando cada trama en capa 2 en los teléfonos, por lo que los componentes ATAs tienen que tener la capacidad de hacer este tipo de etiquetado, de igual manera en las tarjetas NICs de los

computadores que posean *softphone* que hoy en día son la gran mayoría, permitiendo al switch darle prioridad de envío al tráfico de voz en los enlaces dedicados y en los enlaces compartidos (ver Figura 9). Sin embargo este mismo proceso de etiquetado se puede realizar en un switch administrable, separando el tráfico asociando los puertos que contengan tráfico de voz con prioridades distintas a los puertos de tráfico común, a menos que se trate de un *softphone* que se necesita el etiquetado en la NIC del computador. Un buen candidato para los switch es la marca MIKROTIK, que posee este tipo de etiquetado por prioridad, entre otras características.

V.4.3.4 IEEE 802.1P CoS

Este protocolo de calidad de servicio será implementado en los enlaces *FastEthernet* locales entre los switch y los teléfonos IP, y entre los switch y los enrutadores. Permitirá etiquetar el tráfico de voz en la cabecera Ethernet de tal manera que los switch con esta capacidad los prioricen frente a las tramas de datos en el cuello de botella formado. Según las Mejores Prácticas de Calidad de Servicio contenido en el apartado II en el Marco Teórico, este protocolo es recomendable usarse siempre, y colocar el nivel de prioridad #5, que corresponde con voz en tiempo real.

V.4.3.5 VPN

Los túneles VPN son una buena alternativa a la hora de resolver problemas como encriptado de paquetes y direcciones NAT en el caso de la voz. Se determinó que el problema de las direcciones NAT cuando se tienen conversaciones IP bidireccionales salientes de la red, es resuelto por el protocolo SIP y el protocolo IAX2, así como también estos protocolos añaden la característica de encriptado si es seguridad lo que se quiere. Según las Mejores Prácticas de Calidad de Servicio contenido en el Marco Teórico, será mejor siempre que se pueda evitar este tipo de túneles en redes de VoIP; a menos de que sea absolutamente necesario, en cuyo caso

se aplicaría preferiblemente al tráfico de voz, debido a que agregan una serie de bytes a la cabecera IP y procesamiento adicional que podría ocasionar retrasos de transmisión adicionales. Por lo que en este caso, no se hará utilidad de esta tecnología.

V.4.3.6 PQ (*Priority Queue*) QoS:

Se utilizará este protocolo de esquemas de colas en las salidas de los enlaces de hacia Internet tanto en la sede de El Tigre como en Caracas. Este será implementado directamente en las interfaces de los enrutadores para garantizar que los paquetes de voz tengan absoluta prioridad sobre los paquetes de datos en estos cuellos de botella, teniendo una cola sólo para los paquetes de voz. Se etiquetará el tráfico de voz RTP y SIP que tengan la dirección de destino u origen del servidor de FREEPBX, debido a que éste está estructurado para que todo paquete de voz pase a través de él, luego se agregará una cola para VoIP la cual tendrá el mayor valor de prioridad posible. Posteriormente se realizará el mismo procedimiento para el tráfico TCP/IP el cual se etiquetará y se le asignará a una cola que tendrá una prioridad inferior a la de la voz.

V.4.3.7 TRAFFIC SHAPING QoS:

Se implementará en las interfaces de los enrutadores salientes hacia Internet mediante el establecimiento de un límite de tasa de transmisión para el tráfico de datos, retrasando el excedente de las colas sin necesidad de descartarlo, lo que permite modelar el tráfico a las tasas de bit establecidas, evitando picos en los cuellos de botella y garantizando ancho de banda suficiente para el canal de voz. Es importante resaltar que todos los cálculos realizados a continuación son aprovechando el máximo ancho de banda disponible de los enlaces.

Según el cálculo realizado en la Etapa de Enlace, para el primer escenario planteado en el enlace de Caracas, se tiene que respetar una tasa de bit de 715.52 kbps

para voz en un escenario crítico, pero debido a que el enlace de subida sólo posee 512 kbps se limitará el tráfico de datos a un 30% del enlace según una recomendación de un profesor experto en el área, el cual es: $512 \text{ kbps} * 0.3 = 153.6 \text{ kbps}$, quedando para el canal de voz una capacidad de 358.4 kbps, lo que representa para el códec G.729 un máximo de 10 llamadas simultáneas, por lo que para el enlace de bajada se limitará de la misma manera a 10 usuarios, resultando el límite para tráfico de datos: $2048 \text{ kbps} - 358.4 \text{ kbps} = 1689.6 \text{ kbps}$. Para el segundo caso, se tiene una tasa de bit a respetar para la voz de 268.32 kbps, el enlace de subida se limitará a: $512 \text{ kbps} - 268.32 \text{ kbps} = 243.68 \text{ kbps}$ y el enlace de bajada $2048 \text{ kbps} - 268.32 \text{ kbps} = 1779.68 \text{ kbps}$.

Para la sede de El Tigre se tiene que respetar una tasa de 268.62 kbps. En el enlace de subida se posee una tasa de 256 kbps, por lo que se limitará el enlace a un 30% para el tráfico de datos, quedando: $256 \text{ kbps} * 0.3 = 76.8 \text{ kbps}$, dando tasa de bit para aproximadamente para 5 llamadas simultáneas = 179.2 kbps El enlace descendente se limitará de la misma manera: $512 \text{ kbps} - 179.2 \text{ kbps} = 332.8 \text{ kbps}$.

Adicionalmente para no desperdiciar el ancho de banda reservado para la voz mientras éste no esté siendo utilizado, se le indicará a los enrutadores con una función llamada *burst* que permite una “prórroga de tráfico”, de manera que cuando el ancho de banda reservado para el tráfico de voz esté disponible lo tome para la cola de tráfico normal en periodos cortos de tiempo, volviendo a su velocidad limitada luego de transcurrido el intervalo y cuando los paquetes de voz lo necesiten. Con este ajuste, no se verá desperdiciado ancho de banda.

V.4.3.8 CONFIGURACION SOFTSWICH

El sistema PBX seleccionado fue ASTERISK con interfaz gráfica FREEPBX, este posee múltiples modalidades para darles a los usuarios la mayor de las comodidades y flexibilidad a la hora de atender una llamada o transferirla. Se

agregarán las extensiones correspondientes a él Plan de Llamadas colocando una contraseña a cada una para garantizar confidencialidad y definiendo un usuario. Se agregarán características como por ejemplo *follow me* que permite enviar una llamada a diferentes teléfonos para un mismo usuario, por lo menos para el presidente o el usuario que así lo requiera reciba un aviso de llamada en el teléfono celular y la oficina al mismo tiempo; también se permitirá la transferencias de llamadas con sólo marcar un número predeterminado y las conferencias. Se dividirán las extensiones en grupos de llamadas definidas por el Plan de Llamadas, según éste se le indicarán diferentes accesos a los *trunks* (líneas) a cada grupo y se restringirán por horario de uso, adicionalmente se agregará la característica de llamar por grupo. Se configurará un número específico local al cual los puedan llamar desde cualquier teléfono y tengan acceso a la PBX sin necesidad de un *softphone*, esto por ejemplo es útil si se quiere aprovechar las líneas de la compañía y se tiene acceso a cualquier teléfono, esto es configurado en el modulo DISA (*Direct Inward System Access*) (ver Anexo B). Luego se configurará la dirección pública de cada sede y se le indicará cuales direcciones IP son públicas y cuales son privadas, dado que las PBX tendrán direcciones IP privadas bajo una configuración NAT, esto se hace para que el PBX esté al tanto de cuando cambiar las cabeceras SIP cuando se establezcan conexiones con una IP fuera de la LAN. El siguiente paso será asignar una dirección IP estática para la dirección interna (evitando el uso de DHCP), con el propósito de que siempre mantenga su dirección y una IP dinámica para la externa colocándole el dominio correspondiente al ISP, esto último debido a que las direcciones externas cambian constantemente y el servidor tiene que estar al tanto. Se configurará el tiempo de llamada en *drop call* para que las mismas no sean desconectadas al no recibir audio por 30 segundos (por ejemplo una llamada en espera) y se colocará en 300 segundos que es lo recomendado por el software. Se agregará un módulo llamado *Device and User Mode* para que los usuarios puedan acceder a las llamadas desde cualquier teléfono IP sólo con la contraseña y extensión definida, pudiendo éste encontrarse en

cualquier lugar del mundo. Se configurará el servicio *PostFix* para que los usuarios les sean permitidos enviar y recibir *e-mails* y *voicemails* desde los *softphones*.

Luego por medio de la interfaz gráfica se creará un *SIP Trunk* entre las los PBX de las dos sedes agregándole la dirección IP pública que tiene cada una y otra serie de parámetros los cuales están indicados en el manual de FREEPBX. De igual manera se crearán *Trunks* para las líneas analógicas de las diferentes operadoras por medio de las tarjetas análogas FXO/FXS adquiridas con balanceo de carga de llamadas entre líneas, o se agregará un modulo especial para llamar a través de *Google Voice* dependiendo de lo elegido en la propuesta técnica y de costos. Se agregará una contestadora automática especificando los números CANTV locales, de tal manera que cuando un usuario llame responda la contestadora, pregunte el número de departamento o extensión, o de lo contrario sea atendido por la recepcionista. La configuración se encuentra descrita en el Anexo B.

V.5) PLAN DE LLAMADAS

Se presenta a continuación un esquema de las políticas de llamadas permitidas para cada usuario definidas previamente por el Contralor de la compañía para los 20 teléfonos actuales, de los cuales 13 son móviles y 7 fijos, cada uno con un *softphone* para uso alternativo en su computador personal con las mismas políticas. Adicionalmente se agregan 5 *softphones* para los usuarios de El Tigre que serán instalados y configurados en sus respectivos computadores, los cuales anteriormente no contaban con servicio de telefonía. Este Plan de Llamadas corresponde al punto 6 de la metodología propuesta y con el objetivo titulado “Diseñar planes de llamadas, basados en jerarquías y políticas de la empresa”.

LEYENDA:

PRESIDENCIA 

VICEPRESIDENCIA 

CONTRALORÍA 

ADMINISTRACIÓN 

CONTADURÍA 

VENTAS 

LOGÍSTICA 

SISTEMAS 

RECEPCIÓN 

LOGÍSTICA GENERAL 

INVITADO 

TC: TELÉFONO CELULAR

TF: TELÉFONO FIJO

SP: *SOFTPHONE*

IN: INVITADO

- El horario de oficina es comprendido entre 8:00 am y 5:00pm, de Lunes a Viernes.
- La configuración de un “invitado” será realizada en su equipo móvil por el encargado del departamento de sistemas, en el caso que éste no sea compatible, se podrá asignar un teléfono alternativo.
- En el caso de alguna excepción en la planificación, deberá ser notificado ante el departamento de sistemas con previa autorización del Contralor.
- Las llamadas internas, estarán disponibles siempre en horario abierto.

OBSERVACIONES:

- ✓ La inclusión de los *softphone* para los nuevos usuarios en la sede de El Tigre, no afectará el “Estudio de Tráfico de Llamadas Externas”, debido a que sólo tienen permitidas llamadas internas.
- ✓ Con la inclusión de éste Plan de Llamadas, será menor el tráfico de llamadas externas, por lo que podrá quedar redundancia de líneas externas, establecidas previamente por el “Estudio de Tráfico de Llamadas Externas”.
- ✓ Al haber control de tráfico, se evidencia un ahorro económico y de tasa de bit en los enlaces (ver Diseño del Sistema).

SERVIMECA, C.A.

Teléfono/Llamadas Permitidas	Llamadas Internas	Llamadas a Movistar	Llamadas a Movilnet	Llamadas a Digitel	Llamadas a Teléfonos Fijos	Llamadas Internacionales	Horario de Oficina	Horario Abierto
TC1	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
TC2	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
TC3	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
TC4	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
TC5	✓	✓	✓	✓	✓			✓
TC6	✓						✓	
TC7	✓						✓	
TC8	✓						✓	
TC9	✓						✓	
TC10	✓	✓	✓	✓	✓			✓
TC11	✓						✓	
TC12	✓						✓	
TC13	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
TF1	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
TF2	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
TF3	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
TF4	✓						✓	
TF5	✓						✓	
TF6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
TF7	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
SP1	✓						✓	
SP2	✓						✓	
SP3	✓						✓	
SP4	✓						✓	
SP5	✓						✓	
IN	✓				✓		✓	

Tabla 27 Plan de Llamadas

Fuente: Elaboración propia

V.6) PLATAFORMA DE PRUEBAS

Se plantea un escenario con el objetivo de evaluar los enlaces críticos del proyecto propuesto, los cuales incluyen el enlace ADSL de Caracas y el enlace de Internet Satelital de El Tigre aplicando las tecnologías de calidad de servicio QoS antes propuestas y realizando pruebas entre terminales; esto debido a que el problema de congestión se presenta en estos puntos, teniendo los demás enlaces suficiente ancho de banda. Existen distintas maneras de evaluar estos enlaces, una es hacerlo de forma física, la cual es buena alternativa pero representa grandes costos de hardware debido a todos los componentes que se necesitan, por otro lado está la virtualización que consiste en ejecutar varias máquinas en forma de software sobre hardware físico con lo que se minimizan costos y se optimiza el control sobre la plataforma, por lo que fue elegida como opción.

V.6.1) DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESCENARIO

Mediante software especializado de virtualización se crea una conexión entre dos terminales en diferentes redes emulando las condiciones físicas de las dos sedes de la compañía; uno de los terminales está conectado a un switch y luego a un enrutador, mientras que en la otra sede estará el otro terminal conectado a otro enrutador, simulando los que se proponen en el Diseño del Sistema, estos enrutadores a su vez están conectados mediante otro enrutador que simula la red IP entre los ISP, (Cabe destacar que esto es un escenario ideal en donde no se toma en cuenta el tráfico externo del ISP, siendo éste un parámetro que en el caso del proyecto no se puede controlar). Luego se instala ASTERISK con FREEPBX en una máquina virtual (PBX escogido previamente en la Evaluación de los *softswitch*) y éste está conectado al switch para gestionar las llamadas. En cada terminal se instala el sistema operativo Microsoft Window 7, un *softphone* para realizar llamadas de prueba, un medidor de tasa de bit y un software especializado para medir valores tales como Jitter, Latencia y Pérdida de Paquetes. Adicionalmente se genera tráfico TCP/IP entre

los dos terminales para simular la congestión de la red, mediante el envío de archivos de gran tamaño entre los terminales. Se limita el ancho de banda de los enlaces con salida hacia Internet con las mismas tasas de bit que se tienen actualmente arrendadas en la compañía. Luego de esto, se miden valores estableciendo llamadas entre los terminales y congestionando la red con tráfico TCP/IP sobrepasando los parámetros de calidad establecidos en Mejores Prácticas en VoIP. Consecutivamente se agregan técnicas de calidad de servicio (QoS) en cada enlace y se vuelven a realizar mediciones obteniendo los valores de *Jitter*, *Latencia* y *Pérdida de Paquetes* deseados, corroborando y probando así el funcionamiento de las técnicas de calidad de servicio en los enlaces críticos simulados de la compañía.

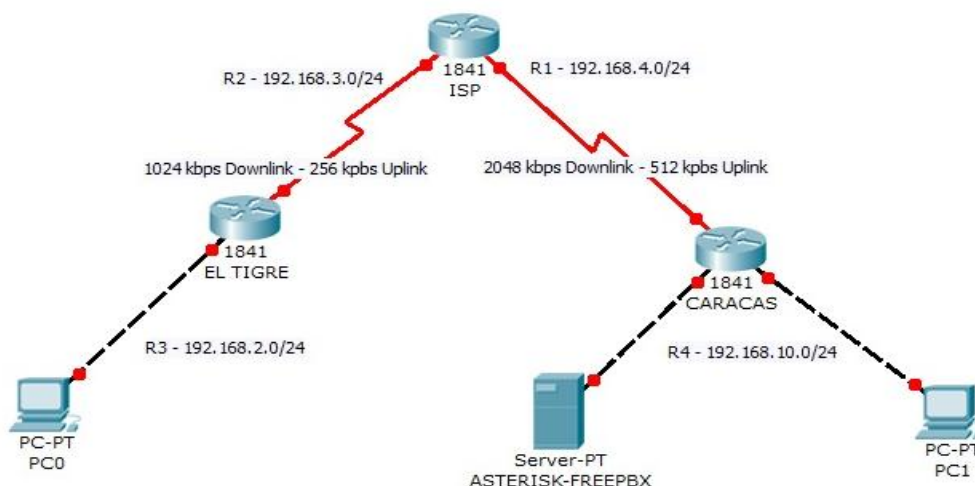


Figura 10 Topología Propuesta
Fuente: Elaboración propia

V.6.2)HERRAMIENTAS DE SOFTWARE Y HARDWARE

V.6.2.1 CONFIGURACIÓN INICIAL

VIRTUALIZACIÓN

Para virtualizar los enrutadores, el servidor, el switch y el entorno se utiliza el software *Oracle VM VirtualBox*, ya que luego de una breve investigación se determinó que cumple con los requisitos para virtualizar VoIP. Los terminales son dos computadores físicos en los cuales uno de ellos tiene instalado el software de simulación, esto debido a que para virtualizar todos los componentes en una sola máquina física se requiere de un procesador de mucha capacidad, de lo contrario se sobrecargará y por consiguiente puede verse afectada la calidad de las llamadas.

ENRUTADORES

Para los enrutadores se crean 3 máquinas virtuales con 256MB de memoria RAM, un disco duro en modo dinámico (este modo permite que mientras se va necesitando espacio, va creciendo el disco duro de forma dinámica dentro del disco de la máquina real). Luego se descarga una imagen de software del enrutador MIKROTIK desde su página web y se instala en cada una de ellas. MIKROTIK es una de las marcas que posiblemente será la elegida para el Diseño final, por lo que se escogió para la virtualización, además que posee las características de calidad de servicio que se requieren para aplicar en los enlaces. Estos enrutadores son conectados entre sí mediante interfaces virtuales en VirtualBox llamadas *internal networks*, que permiten crear enlaces virtuales entre ellos. Luego fueron creadas rutas estáticas para cada punto de la red

MÁQUINAS FÍSICAS

Las dos máquinas físicas usadas poseen sistema operativo Window7, una de ellas posee memoria RAM de 512MB y está conectada a un switch, que en realidad

es un switch virtual creado con VirtualBox colocando la interfaz en modo *bridge*, permitiendo utilizar la interfaz real de la máquina de tipo Fast-Ethernet en la cual se tiene instalado el programa como un puente para poder conectar la otra máquina física.

El computador en el cual se tiene el software de virtualización posee una memoria RAM de 4GB y un procesador AMD doble núcleo de 1Ghz, por lo que no tiene problemas para ejecutar la simulación. Este está conectado al enrutador mediante un enlace en modo *host-only* en VirtualBox, que permite conectar el computador físico simulando una interfaz real dentro de las interfaces del computador. El PBX está conectado de igual manera a este enlace.

ASTERISK FREEPBX

Se instala una imagen de software descargada desde la página web de FREEPBX y se crea una máquina virtual para esto con las mismas características que las demás pero con 512MB de memoria RAM, el doble de la memoria asignada a los enrutadores virtuales, ya que requiere de más capacidad al alojar a la PBX. Luego de ser instalada se descargan unos paquetes especiales que necesita la máquina virtual para poder correr el PBX con el comando *yum* desde la consola. Posteriormente se agregan a la red virtual *host-only*, se le asigna una dirección IP estática y se accede desde el explorador web de la máquina real que está en la misma red. En este punto, se cambia la configuración de red para que no haga uso de NAT ya que no es necesaria en este caso y se procede a crear las extensiones correspondientes a los terminales, colocándoles usuario y contraseña. Adicionalmente se permite el uso del códec G.711 ley A y U, que son los utilizados en la simulación.

IPERF

Iperf es un software de alto rendimiento que permite medir tasa de bit máxima entre dos terminales. Se ejecuta a través de la consola de WINDOWS, con los comandos: `iperf -s` para que el servidor empiece a escuchar por el puerto y `iperf -c X.X.X.X` en el cliente para que empiece la transmisión, colocándole a éste ultimo la dirección ip del servidor.

LINPHONE

Es un *softphone* que está instalado en cada uno de los terminales y se configura con los usuarios, contraseñas y dirección IP del PBX ya previamente establecidos. Adicionalmente se configurarán para que codifiquen la voz con el códec G.711.

V.6.3)DESARROLLO DE PRUEBAS Y RESULTADOS

Luego de obtener la plataforma de pruebas con la configuración anterior, se establece una metodología para ir realizando pruebas y obteniendo resultados de acuerdo a una serie de pasos que se explican a continuación:

V.6.3.1 LIMITACIÓN DEL ANCHO DE BANDA

Al realizar una primera prueba de tasa de bit entre los terminales con el `iperf` se obtuvo el siguiente resultado:

```
C:\Users\DANIEL>iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[260] local 192.168.10.1 port 5001 connected with 192.168.2.1 port 49372
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[260]  0.0-10.0 sec      11.4 MBytes  9.57 Mbits/sec
```

Figura 11 Medición tasa de bit
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se observa cómo la tasa de bit medida con la herramienta IPERF entre los dos terminales fue de 9.57 Mbps en sentido unidireccional, sin haber aplicado ninguna limitación aún.

En los enrutadores se limitan las tasas de bit haciendo corresponder con las tasas reales de la compañía con los siguientes comandos, primero marcando las conexiones que tenga como dirección IP de origen la red local del enrutador, luego creando un tipo de etiqueta para el paquete llamado “users” y marcando todos los paquetes dentro estas conexiones. Posteriormente se crean dos tipos de cola tipo PCQ y se clasifican para pertenecer a los enlaces *uplink* y *downlink*. Finalmente se crean las colas ajustándolas a las tasas de bit en las interfaces correspondientes en cada enlace, dando como resultado que se marquen todos los paquetes salientes y entrantes de los enrutadores, quedando dentro de las colas:

```
/ip firewall mangle add chain=forward src-address=X.X.X.X action=mark-connection new-connection-mark=users-con
/ip firewall mangle add connection-mark=users-con action=mark-packet new-packet-mark=users chain=forward
/queue type add name=Downlink kind=pcq pcq-classifier=dst-address
/queue type add name=Uplink kind=pcq pcq-classifier=src-address
/queue tree add name=Download parent=etherX max-limit=(kbps)
/queue tree add parent=Download queue=Downlink packet-mark=users
/queue tree add name=Upload parent=etherX max-limit=(kbps)
/queue tree add parent=Upload queue=Uplink packet-mark=users.
```

Figura 12 Comandos para limitación de enlaces
Fuente: Elaboración propia

Al volver a realizar la prueba con el iperf, se obtuvo lo siguiente:

```
C:\Users\DANIEL>iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[256] local 192.168.10.1 port 5001 connected with 192.168.2.1 port 49450
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[256]  0.0-10.6 sec   320 KBytes  247 Kbits/sec
```

Figura 13 Medición tasa de bit limitado
Fuente: Elaboración propia

Se evidencia en la Figura 13 cómo el ancho de banda quedó limitado a una velocidad de 247 kbps, siendo ésta muy cercana a la mínima tasa de bit que corresponde al enlace *upload* de El Tigre también en sentido unidireccional (256 kbps).

V.6.3.2 ESTABLECIMIENTO DE LLAMADAS ENTRE TERMINALES

Se establece una llamada probando la configuración de las centrales y la calidad de la llamada. Dado que se usa el códec G.711, la llamada ocupa un canal unidireccional con una tasa de bit de 90.4 kbps. El códec que en realidad se utilizará en estos enlaces en el Diseño del Sistema será el G.729, pero dado a que requiere de un licenciamiento y por cuestiones de ahorro económico, se utiliza para las pruebas el G.711. Cada llamada G.729 tiene un tasa de 34.4 kbps, por lo que una llamada en G.711 son aproximadamente dos llamadas simultáneas con G.729.

Ahora se establece una llamada sin ningún tipo de calidad de servicio en los dos *softphones* durante 2 minutos enviando tráfico de voz constantemente y midiendo los parámetros de QoS con el programa *PRTG Network Monitor*. A continuación se muestra una impresión de la interfaz del *softphone*:

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

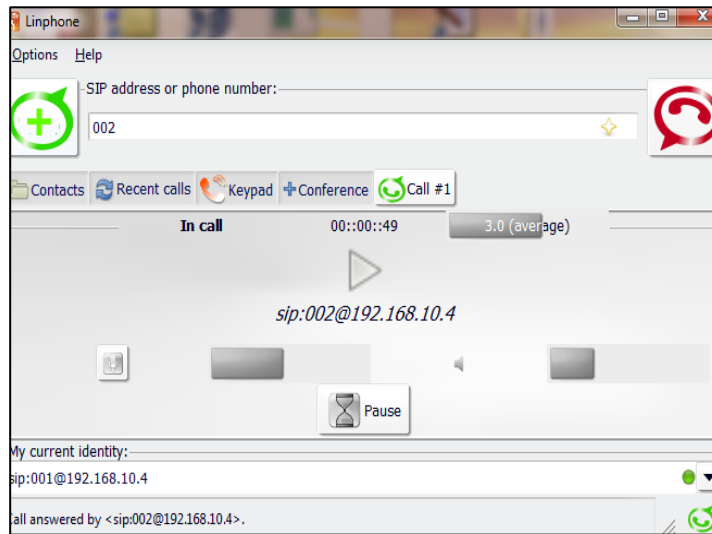


Figura 14 Medición del Softphone
Fuente: Elaboración propia

La voz se escuchó con claridad. A continuación se midió la tasa de bit disponible en el transcurso de la llamada, dando lugar al siguiente resultado en la última medición:

```
c:\Users\DANIEL>iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte <default>
-----
[260] local 192.168.10.1 port 5001 connected with 192.168.2.1 port 49422
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[260] 0.0-10.6 sec   320 KBytes  247 Kbits/sec
[196] local 192.168.10.1 port 5001 connected with 192.168.2.1 port 49423
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[196] 0.0-11.1 sec   216 KBytes  160 Kbits/sec
```

Figura 15 Medición de tasa de bit con llamada establecida
Fuente: Elaboración propia

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

Los valores de Jitter, Latencia y Pérdida de Paquetes fueron medidos en un intervalo de 2 minutos. Se colocaron los 3 resultados en un mismo gráfico proporcionado por la herramienta *PRTG Network Monitor* el cual se muestra a continuación. Adicionalmente se muestra una tabla con los parámetros más detalladamente.

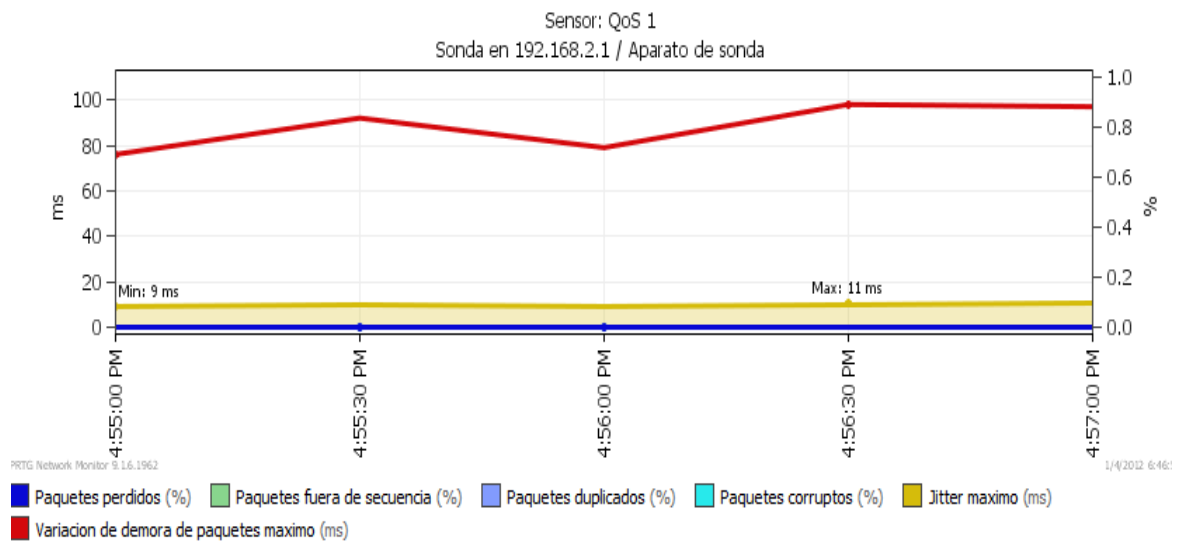


Figura 16 Medición 1 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos
 Fuente: Elaboración propia

Fecha/ Hora	Paquetes perdidos	Paquetes fuera de secuencia	Paquetes duplicados	Jitter mínimo	Jitter promedio	Jitter máximo	Variación de demora de paquetes mínimo	Variación de demora de paquetes máximo
1/4/2012 16:54:56	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	9 ms	-20 ms	-76 ms
1/4/2012 16:55:26	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	10 ms	-20 ms	-98 ms
1/4/2012 4:55:56	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	9 ms	-21 ms	-80 ms
1/4/2012 4:56:26	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	10 ms	-33 ms	-95 ms
1/4/2012 4:56:57	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	11 ms	-30 ms	-97 ms

Tabla 28 Medición 1 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos
 Fuente: Elaboración propia

Se comprueba la configuración inicial realizada en FREEPBX al establecer la llamada entre los dos terminales. Se observa en la primera llamada (Figura 14) cómo el *softphone* midió una calidad promedio aceptable de audio (*average* 3/5). La voz fue escuchada con claridad y sin retardo, sin embargo la calidad no fue de 5 puntos debido a la sobrecarga del computador, éste al tener un solo procesador no es capaz de establecer una conexión óptima ejecutando múltiples procesos a la vez (maquinas virtuales, pbx, *softphone*). En la Figura 15 se aprecia la disminución en 87 kbps que es casi exacta la tasa de bit que ocupa una llamada con G.711.

En la figura 16 se observa cómo los valores de Jitter máximo, Latencia (Variación de demora de paquetes máximo) y Paquetes Perdidos mantuvieron valores muy por debajo de las limitaciones para VoIP de un escenario ideal (Jitter <20ms, Latencia <150ms, Paquetes Perdidos<1%). En la tabla 28 se observan estos parámetros con mayor detalle, la máxima Latencia alcanzada fue de 33ms, el Jitter máximo de 10ms y 0% de Paquetes Perdidos.

V.6.3.3 CONGESTIONAMIENTO DE LA RED Y MEDICIONES

Se establece de nuevo la llamada pero esta vez se agrega tráfico TCP entre los dos terminales para congestionar la red y provocar pérdida de calidad en la llamada, luego de esto, se mide la tasa de bit y valores de los parámetros de QoS para establecer un escenario crítico.

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

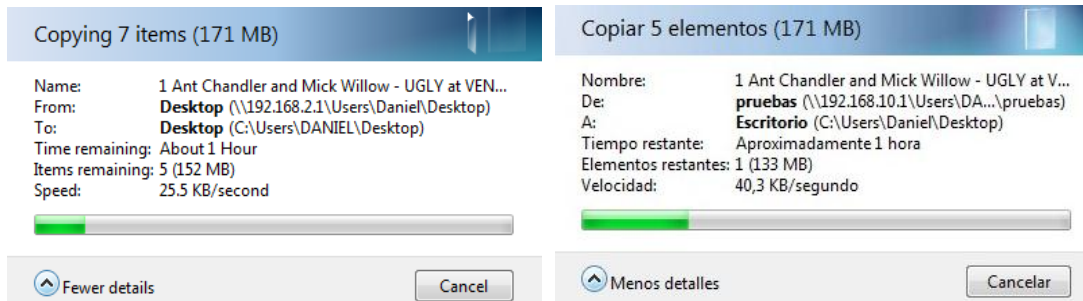


Figura 17 Generación de Tráfico
Fuente: Elaboración propia

Es establecida una conexión TCP de un terminal a otro transmitiendo un archivo de 171MB y se realiza una llamada, la cual sigue teniendo una buena calidad. Posteriormente se establece otra transferencia del mismo archivo desde el otro terminal. Se muestra en la figura 17 las capturas de pantalla de las transmisiones.

Luego de esto se establece otra una llamada de prueba entre los terminales, y se nota de inmediato una muy mala calidad en la voz, la llamada se realiza esta vez por 3 minutos y se procede a medir los parámetros de interés. Se obtuvo una captura de pantalla del *softphone*:

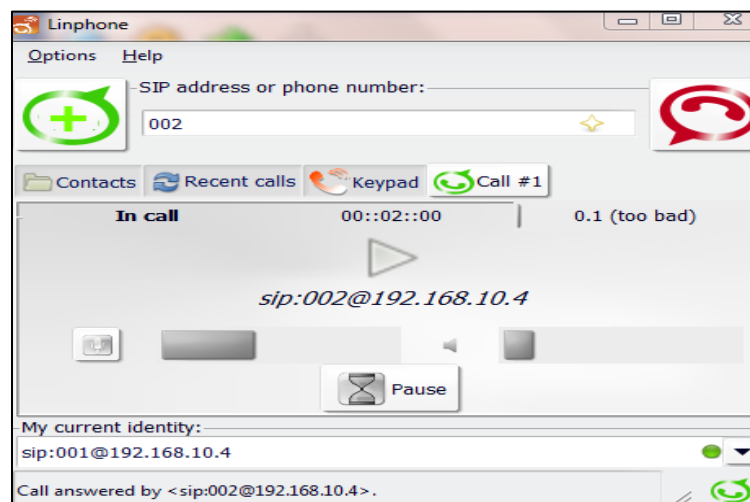


Figura 18 *Softphone* con Congestión
Fuente: Elaboración propia

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

La calidad arrojada por el *softphone* fue de 0.1/5 (*too bad*) en la mayoría de el transcurso de la llamada.

Los parámetros arrojados por el programa medidor en este intervalo de tiempo fueron los siguientes:

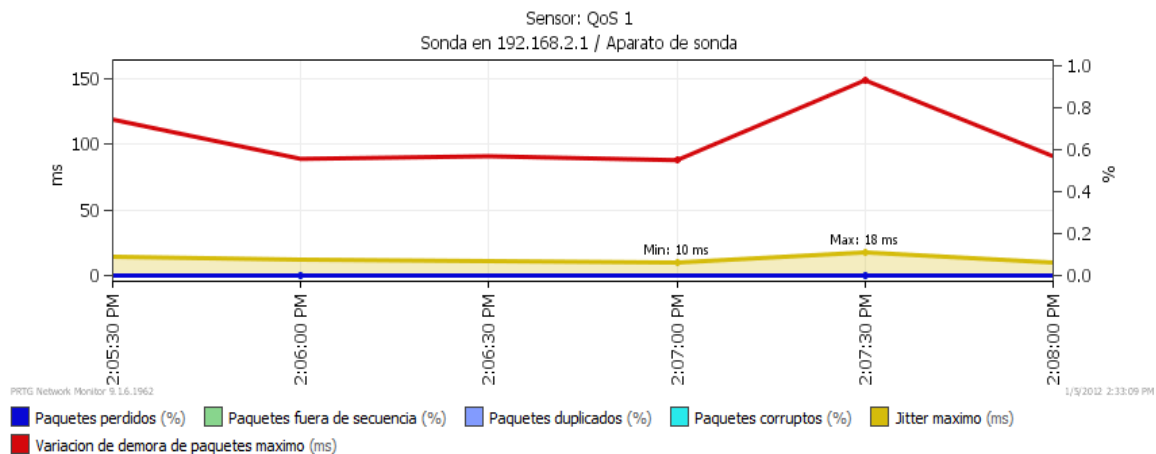


Figura 19 Medición 2 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos con Congestión
Fuente: Elaboración propia

Fecha/ Hora	Paquetes perdidos	Paquetes fuera de secuencia	Paquetes duplicados	Jitter mínimo	Jitter promedio	Jitter máximo	Variación de demora de paquetes mínimo	Variación de demora de paquetes máximo
1/5/2012 14:05:22	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	14 ms	-36 ms	119 ms
1/5/2012 14:05:52	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	12 ms	-39 ms	89 ms
1/5/2012 14:06:23	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	11 ms	-38 ms	91 ms
1/5/2012 14:06:53	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	10 ms	-30 ms	88 ms
1/5/2012 14:07:23	0%	0%	0%	0 ms	7 ms	18 ms	-70 ms	149 ms
1/5/2012 14:07:53	0%	0%	0%	0 ms	6 ms	10 ms	-20 ms	91 ms

Tabla 29 Medición 2 Jitter , Latencia y Paquetes Perdidos con Congestión
Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se visualizan las dos conexiones de transferencia de datos paralelas; teóricamente los procesos generados por Windows ocuparán el mayor

ancho de banda disponible para transmitir la información. Luego de establecidas las conexiones, se muestra en la figura 18 que el *softphone* arroja una calidad de 0.1/5 (*too bad*), debido a que todos los paquetes están en una sola cola, los de voz tienen que esperar a que los de datos que están en primer orden salgan por las interfaces y al estar en estado de congestión, causa deterioro de la calidad de la llamada, situación que se pudiera presentar en el escenario real al tener múltiples conexiones y llamadas.

En la figura 19 se evidencia que los valores medidos llegaron a ser muy cercanos a los límites recomendados de QoS, se ve cómo la Latencia tuvo un pico de retardo a los 2 minutos de haber establecido la llamada con respecto al Jitter. Los valores en general fueron más altos que los medidos en el primer escenario (figura 16). El único parámetro que no varió fue el porcentaje de paquetes perdidos, debido a que el enrutador no tuvo la necesidad de empezar a descartar paquetes. En la tabla 29 se muestran las mediciones realizadas con más detalle, se observa que al realizar la última medición alcanzó una Latencia de 149ms y 18ms de Jitter, lo que indica una muy mala calidad en las llamadas que se quieran establecer en ese enlace.

V.6.3.4 APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE CALIDAD DE SERVICIO

Una vez teniendo el escenario crítico en pie, se procede a aplicar técnicas de QoS en los bordes de los enrutadores; estas técnicas incluyen *Traffic Shaping* y Esquema de Colas de prioridad tipo PQ, propuestos en el Diseño del Sistema. Los siguientes comandos se aplican a los dos enrutadores:

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

```
/ip firewall mangle add chain=forward src-address=192.168.10.4/32 action=mark-packet new-packet-mark=VoIP\
passthrough=no comment="VoIP" disabled=no
/add chain=forward dst-address=192.168.10.4/32 action=mark-packet new-packet-mark=VoIP\ passthrough=no
comment="VoIP" disabled=no
/queue tree
/add name="ether1_voip" parent=Download packet-mark=VoIP limit-at=0 queue=default priority=2 \ max-limit=0 burst-
limit=0 burst-threshold=0 burst-time=0s disabled=no
/add name="ether2_voip" parent=Upload packet-mark=VoIP limit-at=0 queue=default priority=2 \ max-limit=0 burst-limit=0
burst-threshold=0 burst-time=0s disabled=no
```

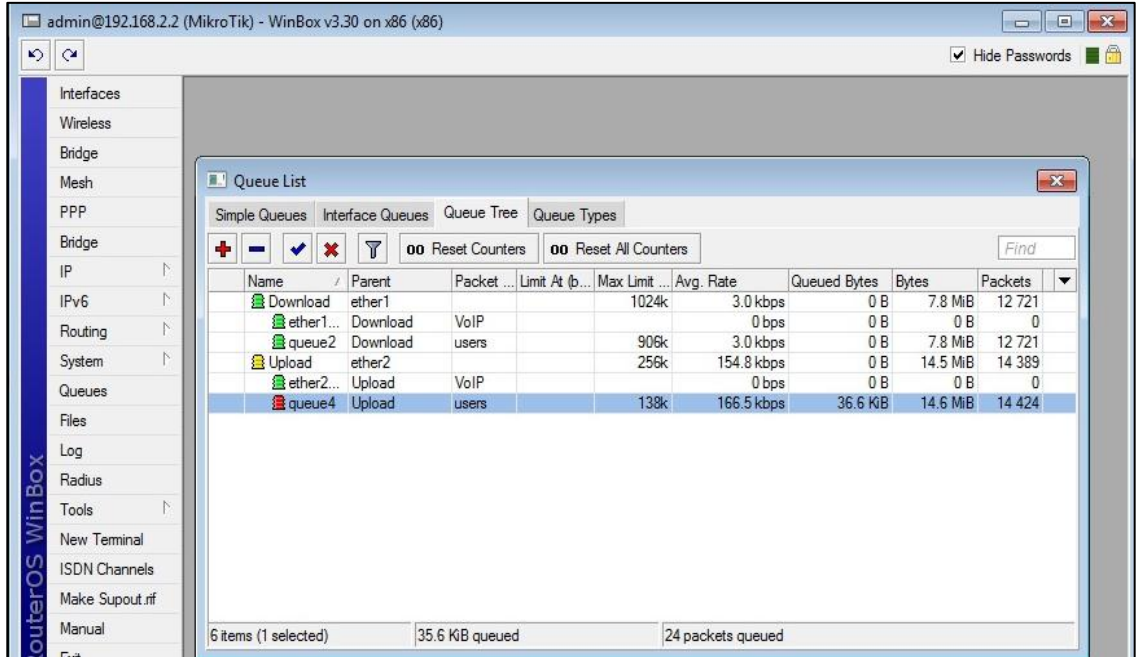
Figura 20 Comandos QoS
Fuente: Elaboración propia

Se le indica con los primeros dos comandos que etiquete la conexiones que tuvieran como dirección IP la del servidor de ASTERISK (configurado por defecto para que cada paquete SIP y RTP pase a través de él), al aplicar la máscara 255.255.255.255 a cualquier paquete, estos son reconocidos como parte del servidor, por lo que no se tiene que tener el servidor en una red separada y posteriormente etiqueta todos estos con la etiqueta “VoIP” dentro de ésta conexión. Con los comandos posteriores se crea un árbol tipo *queue* en la interfaz correspondiente y se le indica que los paquetes anteriormente marcados como “VoIP” sean priorizados con nivel 2 (nivel más alto, ya que el nivel 1 es utilizado para protocolos de señalización, enrutamiento). Las colas de prioridad creadas son de tipo PQ.

Luego se procede a aplicar *Traffic Shaping* en los enlaces, limitando la tasa de bit en la cola que contiene el tipo de paquete “users” (todo el tráfico que no es de tipo VoIP). Para cada cola se le coloca el límite máximo de tasa de transmisión con el comando *max limit* previamente calculado en el Diseño del Sistema, con los mismos comandos aplicados para simular las velocidades reales de los enlaces en el paso Limitación del Ancho de Banda, esto se realiza en cada cola de cada enrutador.

A continuación, se aplica en esta misma cola el comando denominado *burst limit*, indicándole los valores de transmisión de las tasas reales para cada enlace con la finalidad de darle una “prórroga de tráfico máximo”. Luego con el comando *burst threshold* se le coloca la velocidad en la cual va a empezar a tomar esta prórroga, indicando las mismas tasas configuradas como límites máximos. Posteriormente con el comando *bust time* se le indica un valor de 5 segundos, que es la cantidad de tiempo que el enrutador tiene para tomar la prórroga de velocidad y ocupar el enlace en su totalidad. Este tiempo fue calculado tomando en cuenta que la velocidad máxima de transmisión entre los dos enlaces unilateral es de 247 kbps (Figura 15), por lo que cada 5 segundos se podrá transmitir aproximadamente 1 MB con máxima velocidad mientras el ancho de banda esté disponible.

Ahora se congestiona el enlace y se verifica la configuración en el enrutador de El Tigre de la siguiente manera:

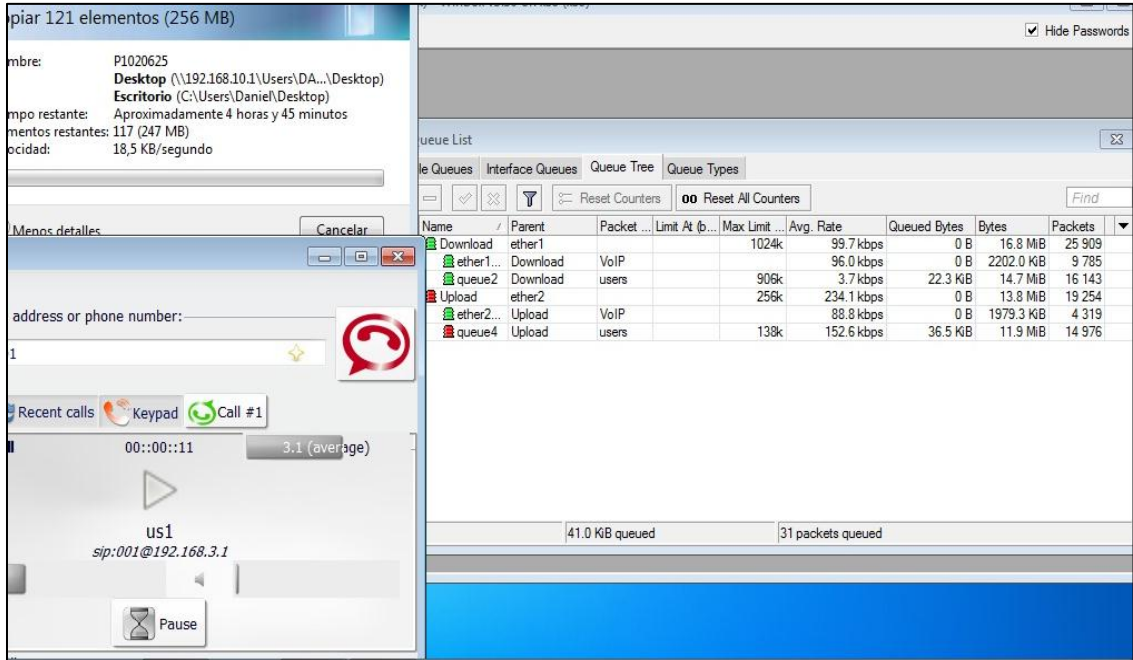


Name	Parent	Packet	Limit At (b...	Max Limit	Avg. Rate	Queued Bytes	Bytes	Packets
Download	ether1			1024k	3.0 kbps	0 B	7.8 MiB	12 721
ether1...	Download	VoIP			0 bps	0 B	0 B	0
queue2	Download	users		906k	3.0 kbps	0 B	7.8 MiB	12 721
Upload	ether2			256k	154.8 kbps	0 B	14.5 MiB	14 389
ether2...	Upload	VoIP			0 bps	0 B	0 B	0
queue4	Upload	users		138k	166.5 kbps	36.6 KB	14.6 MiB	14 424

Figura 21 Comprobación QoS
Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se evidencia la creación de las colas *ether1_voip* y *ether2_voip* con el tipo de paquete “VoIP”, correspondiente a los que estén destinados o provengan del servidor de ASTERISK (conexiones de señalización SIP y de RTP de voz) que a su vez están dentro de la cola que limita y simula los enlaces reales.

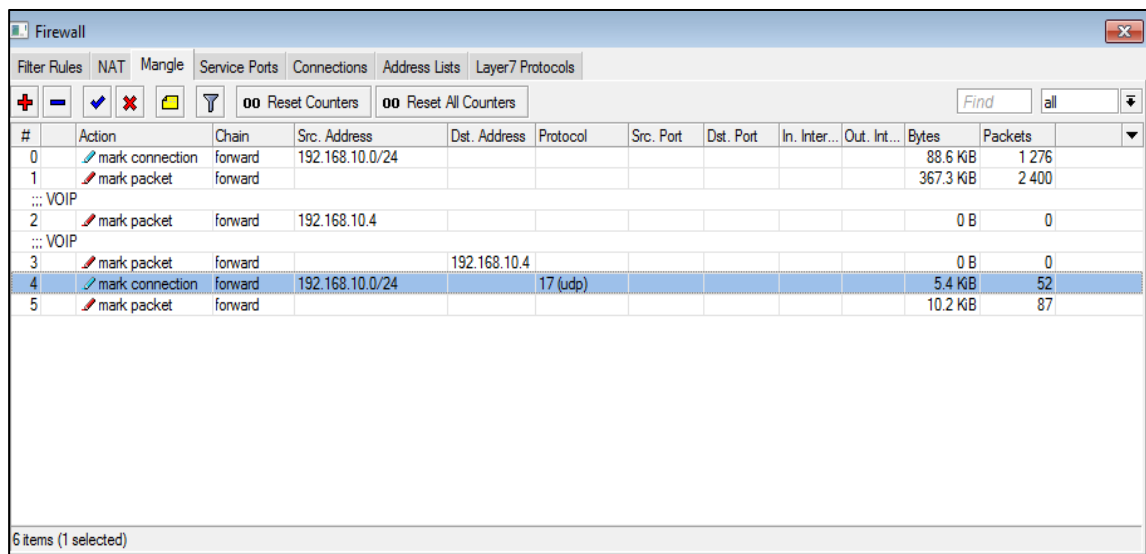
Se observan también la creación de las colas *queue 1* y *4* correspondientes a todo el tráfico de la red que no es “VoIP”, estas están limitadas a las tasas de bit previamente calculadas reservando ancho de banda disponible suficiente para las llamadas en estas interfaces. En el Diseño del Sistema se tenía previsto sólo limitar los anchos de banda para las colas de tráfico corriente, pero al configurar estos enlaces en los enrutadores MIKROTIK se consideró la posibilidad de poder aprovechar la función de *burst*, que consiste en dar prórroga de velocidad al estar disponible el enlace y así optimizar su uso y no desperdiciarlo mientras no se use. Se ve que la red al estar bajo una condición de *stress* congestionada con el tráfico TCP, el enrutador al no tener ninguna llamada “VoIP” establecida toma la prórroga de ancho de banda previamente calculada, por ejemplo en el enlace *Upload* se evidencia como la cola *queue 4* correspondiente a todo el tráfico que no es “VoIP” tiene un límite de 138 kbps, pero toma 166.5 kbps o hasta el enlace completo mientras que exista ancho de banda disponible, esto es permitido cada 5 segundos según los cálculos realizados y se encuentra en color rojo debido a que está en estado de prórroga de tráfico. Estos ajustes fueron aplicados al Diseño del Sistema.



En la figura 22, se observa que al establecer la llamada en este escenario crítico, los paquetes etiquetados como “VoIP” son introducidos en la cola ***ether1_voip*** y ***ether2_voip***, se ve por ejemplo en la primera cola cómo la tasa de transmisión se sitúa en 96 kbps y la otra en 88.8 kbps, que corresponden al ancho de banda de la llamada establecida. El *softphone* arroja una calidad aproximada de 3/5 (*average*), lo que indica que los paquetes de voz están siendo priorizados en la cola ante los de datos, corroborando el mecanismo Esquema de Colas aplicado. Estos al llegar a la cola de salida son enviados primero así existan datos por enviar y a su vez el esquema aplicado con *Traffic Shaping* permite reservar el ancho de banda para la voz, sin desperdiciarlo cuando no está siendo ocupado.

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

Debido a que el programa evaluador PRTG Network Monitor envía constantemente paquetes UDP entre los terminales para evaluar parámetros, se agrega una marca nueva a las conexiones UDP entre las dos redes de los terminales y luego se configura en los enrutadores para que los etiquete como tipo de paquete “VoIP” anteriormente creados, y los adhiriera a la cola de prioridad.



#	Action	Chain	Src. Address	Dst. Address	Protocol	Src. Port	Dst. Port	In. Inter...	Out. Int...	Bytes	Packets
0	mark connection	forward	192.168.10.0/24							88.6 KiB	1 276
1	mark packet	forward								367.3 KiB	2 400
...	VOIP										
2	mark packet	forward	192.168.10.4							0 B	0
...	VOIP										
3	mark packet	forward		192.168.10.4						0 B	0
4	mark connection	forward	192.168.10.0/24		17 (udp)					5.4 KiB	52
5	mark packet	forward								10.2 KiB	87

Figura 23 Priorización de conexiones UDP para Mediciones
Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se observa en el *firewall* del enrutador como éste marca todas las conexiones de tipo UDP (sin ninguna llamada establecida), correspondiendo en este caso con las conexiones establecidas por el programa medidor de parámetros, se marcan los paquetes y son tratados al igual que la voz. Esta medida es sólo para poder medir los parámetros de interés, pero no será aplicada en el escenario real ya que no es de interés que se vean priorizados todos los paquetes UDP de la red.

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

Luego se volvió a establecer la llamada.

Los parámetros de calidad de servicio arrojados por el programa fueron los mostrados a continuación:

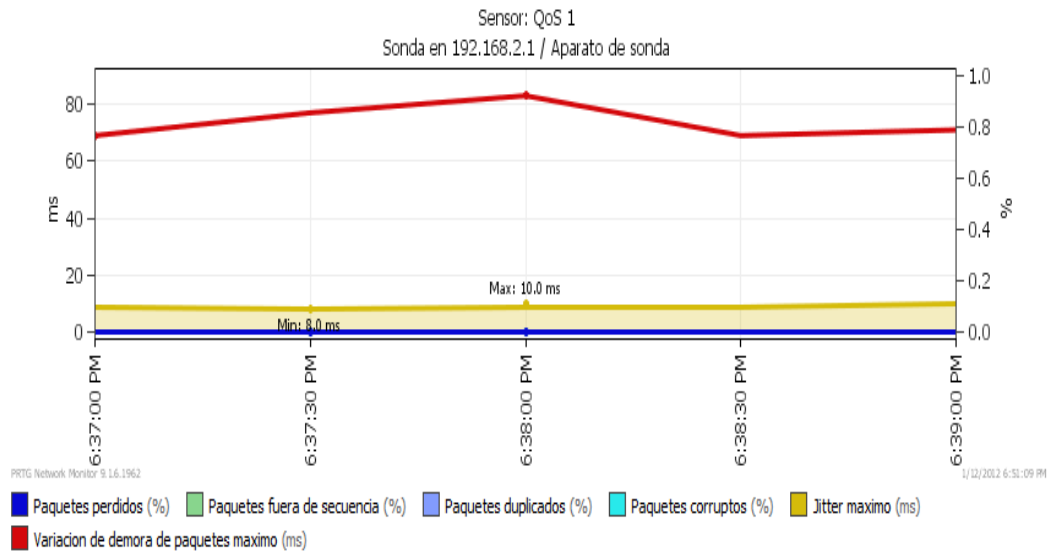


Figura 24 Medición 3 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos con Calidad de Servicio
Fuente: Elaboración propia

Fecha /Hora	Paquetes perdidos	Paquetes fuera de secuencia	Paquetes duplicados	Jitter mínimo	Jitter promedio	Jitter máximo	Variación de demora de paquetes mínimo	Variación de demora de paquetes máximo
1/12/2012 18:37:04	0%	0%	0%	0 ms	5 ms	9 ms	-20 ms	69 ms
1/12/2012 6:37:34	0%	0%	0%	0 ms	4 ms	8 ms	-23 ms	77 ms
1/12/2012 6:38:04	0%	0%	0%	0 ms	5 ms	9 ms	-23 ms	83 ms
1/12/2012 6:38:34	0%	0%	0%	0 ms	5 ms	9 ms	-31 ms	69 ms
1/12/2012 6:39:04	0%	0%	0%	0 ms	10 ms	10 ms	-21 ms	71 ms

Tabla 30 Medición 3 Jitter, Latencia y Paquetes Perdidos con Calidad de Servicio
Fuente: Elaboración propia

En la última medición realizada, se observa en la figura 24 como los 3 parámetros tuvieron valores constantes en casi todo el trayecto de la llamada. Esto es porque el tráfico de voz está siendo priorizado en frente de los de datos en todo momento, teniendo un escenario crítico. En la tabla 30 se muestran los valores con más detalle, en comparación con la medición anterior la Latencia máxima se mantuvo por debajo de 83ms y el Jitter por debajo de 10ms, quedando de igual manera en 0% los paquetes perdidos. Se corrobora el correcto funcionamiento de los protocolos de QoS en un escenario crítico en los enlaces de la compañía.

V.7) PROPUESTA TÉCNICA Y DE COSTOS

Se evalúan distintos equipos y configuraciones propuestas en el Diseño del Sistema. Estas evaluaciones están sujetas a especificaciones técnicas, precio y calidad. Son tomadas en cuenta las marcas más populares en el mercado, correspondiendo con el objetivo titulado “Realizar una propuesta técnica y de costos para una futura implementación” siguiendo el último punto de la metodología propuesta. Se tomó como moneda de referencia el dólar norteamericano (US\$) y para aquellos casos que se obtuvieron precios en Bs se aplicó la tasa oficial de 4.3 Bs/1US\$.

En la siguiente tabla se muestran los componentes de red seleccionados para la solución con sus respectivos costos. El costo del códec G.729 es de 10US\$ por llamada concurrente, debido al cálculo realizado en el apartado V.4.3.7, se define un total de 15 llamadas. Los detalles de la evaluación realizada para la selección de los equipos se encuentra en el Anexo C.

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

ENRUTADORES								Precio por Unidad (US\$)	TOTAL (US\$)	
Marca	Modelo	Unidades	Fast Ethernet	Traffic Shaping	Esquema de Cola PQ			59.59	119.18	
MIKROTIK	RB750UP	2	•	•	•					
SWITCHS										
Marca	Modelo	Unidades	Fast Ethernet	Puertos	802.1 p	802.1q (VLAN)		90.61	181.22	
CISCO	SF 100-24	2	•	24	•	•				
ATAs								32.69	228.63	
Marca	Modelo	Unidades	Fast Ethernet	Puertos FXO	802.1p	802.1 q(VLAN)	DHCP			SIP
GRANDSTREAM HANDY TONE	HT286	7	•	1	•	•	•			•
CODEC								10	150	
Marca	Modelo	Unidades								
Digium	G.729	15								
INVERSION INICIAL								539.03		

Tabla 31 Componentes de red
Fuente: Elaboración propia

PRIMER ESCENARIO – LLAMADAS EXTERNAS A TRAVÉS DE LÍNEAS ARRENDADAS.

A continuación se presenta una tabla en donde se describen los componentes necesarios para ésta solución en particular y sus costos asociados

COSTO INICIAL ASOCIADO AL ESCENARIO 1				Precio por Unidad (US\$)	TOTAL (US\$)
Marca	Modelo	Unidades	Número de líneas		
GoIP	GoIP-8 GSM	1	8	926.16	926.16
Digium	AEX410P FXS/FXO	1	4	277	277
INVERSION INICIAL					1203.16

Tabla 32 Componentes Primer Escenario
Fuente: Elaboración propia

**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**

Luego se describe en la tabla 33 los planes recomendados a arrendar a las respectivas operadoras, tomando en cuenta el número de líneas previamente calculado en el análisis de tráfico (ver apartado V.2)

Destino Llamada Externa	Número de líneas	Compañía y Plan Recomendado	Costo por minuto (US\$)	Costo por minuto adicional (US\$)	COSTO FIJO MENSUAL	TOTAL COSTO FIJO MENSUAL
MOVISTAR	5	MOVISTAR - <i>Senior</i> ¹	0,02	0,12	88,37	416,85
MOVILNET	1 ²	MOVILNET - Pégate con Mas	N/A ³	0,04	8,13	8,13
DIGITEL	2	DIGITEL - Todos a 412	N/A	0,16	2,7	5,4
MOVILNET, LOCALES Y NACIONALES	4	CANTV - Ilimitado	Ilimitado locales y nacionales	a MOVILNET 0,06	12,23	48,92
INTERNACIONALES	1	Básico-CANTV	N/A	0,06 (USA)	N/A	N/A
MOVISTAR	13	MOVISTAR - Plan de Datos 60 MB	N/A	N/A	13,82	178,37
TOTAL						657,67

Tabla 33 Planes Recomendados Primer Escenario
Fuente: Elaboración propia

Según los equipos propuestos en la tabla 32, se le asignará al *GoIP-8 GSM* que tiene capacidad para 8 líneas de tipo GSM, 5 líneas MOVISTAR, 1 de MOVILNET y 2 de DIGITEL con los respectivos planes recomendados. Para el equipo FXS/FXO que tiene una capacidad de 4 líneas analógicas, se le asignará las 4 líneas con CANTV.

El plan *Senior* de MOVISTAR posee 3000 minutos, por lo que con las 5 líneas habrá un total de 15000, con los cuáles se calcula un costo por minuto en la tabla 33, añadiendo el costo por minuto adicional. Los demás planes tienen un costo

¹ El plan *Senior* posee minutos adicionales a otras operadoras, que serán usados al haber congestión en las líneas.

² Para el caso del MOVILNET, se requieren (3) líneas activas, pero debido a cuestiones económicas, se establecerán salidas por las líneas FXS/FXO de CANTV y de MOVISTAR al estar ésta línea ocupada.

³ N/A: No aplica.

fijo básico y se cancela por minuto adicional consumido. El plan de datos será arrendado para los 13 equipos móviles actuales que posee la compañía.

SEGUNDO ESCENARIO – LLAMADA EXTERNAS A TRAVÉS DE *GOOGLE VOICE*

Destino Llamada Externa	Costo por minutos (US\$)
LOCALES Y NACIONALES	0.02
MOVILES	0.1
INTERNACIONALES	0.1

Tabla 34 Segundo Escenario Llamadas Externas
Fuente: Elaboración propia

Para éste planteamiento, no es necesario la comprar de ningún equipo, sin embargo el único costo fijo mensual será el del plan de datos para los teléfonos móviles, expresado en la tabla 33. En la tabla 34 se especifica el costo por minuto consumido a través de la plataforma de *Google Voice*.

V.7.1)EVALUACIÓN COMPARATIVA

A continuación se presenta una tabla en donde se evalúan los dos escenarios anteriormente planteados en un periodo de un año. Se tomó en cuenta un consumo mensual de 15000 minutos a MOVISTAR, 500 minutos a teléfonos locales, 500 a DIGITEL, 500 a MOVILNET y 50 para llamadas internacionales usando los costos por minuto de los planes recomendados, con el objetivo de evaluar qué escenario es mas óptimo económicamente hablando, tomando en cuenta el gasto inicial de los equipos y licencias en cada caso.

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch* con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

Concepto / Mes	Mes 1 (US\$)	Mes 2 (US\$)	Mes 3 (US\$)	Mes 4 (US\$)	Mes 5 (US\$)	Mes 6 (US\$)	Mes 7 (US\$)	Mes 8 (US\$)	Mes 9 (US\$)	Mes 10 (US\$)	Mes 11 (US\$)	Mes 12 (US\$)
PRIMER ESCENARIO												
Gasto Inicial	1203.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasto Fijo Mensual (15000 minutos Movistar + Planes Básicos + Plan de Datos)	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67	657.67
500 minutos Movilnet	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1
500 minutos Digitel	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
50 minutos Internacional	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135
Total por mes	1968.1	764.91	764.91	764.91	764.91	764.91	764.91	764.91	764.91	764.91	764.91	764.91
Gasto Total del año Escenario 1	10382											
SEGUNDO ESCENARIO												
Gasto Inicial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasto Fijo Mensual (Plan de Datos)	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37	178.37
16000 minutos Móviles ⁴	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
500 minutos Local	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
50 minutos Internacional	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Total por mes	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4	1793.4
Gasto Total del año Escenario 2	21520											

Tabla 35 Evaluación Escenario Llamadas Externas
Fuente: Elaboración propia

⁴ 16000 minutos correspondientes de la suma de los minutos sólo a celulares (MOVISTAR, DIGITEL y MOVILNET).

Se observa cómo evaluando los dos escenarios, que en el primer mes se hará una inversión 1203.2 US\$ para el escenario 1, y ninguna para el segundo, sin embargo ya para el segundo mes se empieza a gastar una diferencia considerable entre los dos escenarios. Al evaluar los gastos previstos para el año total, se hace mucho más conveniente el primer escenario, por lo que ésta configuración queda como elección definitiva

V.7.2)EVALUACIÓN PRESUPUESTARIA

A continuación se realiza una evaluación entre el escenario actual en el cual se encuentra la compañía (telefonía tradicional) y el nuevo sistema a implementar (telefonía IP). Adicionalmente se muestra el presupuesto final del proyecto.

Evaluación Económica:			
Tiempo de Evaluación:		1 Mes	
Datos correspondientes a Factura MOVISTAR 06/05/2011 al 06/06/2011			
Cálculo de Costo de Factura con Nueva Plataforma VoIP			
	Minutos Consumidos (#)	Costo por Minutos (US\$)	Total (US\$)
MINUTOS CONSUMIDOS MOVISTAR	8949	0.02	259.51
MINUTOS CONSUMIDOS MOVILNET	4572	0.04	211.22
MINUTOS CONSUMIDOS DIGITEL	1624	0.16	263.08
MINUTOS CONSUMIDOS LOCALES	5293	0	12.8
INTERNACIONAL	100	0.06	6.27
Observaciones			
-El gasto mensual de esta evaluación no toma en cuenta la limitación de los usuarios en el Plan de Llamadas, lo que ocasionará una disminución en los costos.			
-Los minutos consumidos a MOVISTAR son los minutos sólo a números externos.			
TOTAL (US\$)		752.90	
Plataforma Anterior de Telefonía Tradicional US\$			
Monto Cancelado a MOVISTAR US\$		2976.76	
Monto Cancelado a CANTV US\$		279.06	
MONTO TOTAL US\$		3255.82	

**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**

Con la Nueva Plataforma de Telefonía IP	
MONTO TOTAL (US\$)	752.90
AHORRO	2502.92
(%)	76.88

Tabla 36 Evaluación Económica

Fuente: Elaboración propia

Los minutos evaluados en la tabla 36 son los correspondientes a las facturas de MOVISTAR prestadas por la compañía y los calculados para los teléfonos fijos CANTV (ver apartado IV), pero tomando en cuenta los nuevos costos por minuto del escenario previamente elegido. Se observa cómo al evaluar los minutos consumidos en la factura con los nuevos costos se obtiene un total de US\$ 752.90, que al compararlo con los costos generados en el sistema tradicional (US\$ 3255.82) se obtiene un ahorro significativo de 76.88% en un mes.

A continuación se encuentra el presupuesto final del proyecto.

PRESUPUESTO	Monto
Enrutadores MIKROTIK (2)	119.18
Switchs CISCO (2)	181.22
Atas GRANDSTREAM (7)	228.63
MODEM GoIP GSM (1)	926.16
TARJETAS FXS/FXO (1)	277
COSTO DE ENVÍO (5)	250
TOTAL US\$	1982.19
*Los costos de envío variaran dependiendo del proveedor escogido.	

Tabla 37 Presupuesto

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La VoIP (*Voice Over IP*) ha revolucionado el mundo de las telecomunicaciones y el mundo empresarial, a pesar de ser una tecnología relativamente nueva todo apunta a que será el estándar de las comunicaciones de voz móviles y fijas en un futuro no muy lejano, permitiendo múltiples características y reduciendo el costo por minuto de llamada a gran escala, al estar bajo uno de los protocolos más estandarizados y conocidos del mundo, el protocolo de Internet IP.

Con el desarrollo de este proyecto, se logró determinar cuantitativamente y conceptualmente la importancia del cambio de la plataforma telefónica de SERVIMECA, C.A adoptando la tecnología de VoIP, adicionando nuevas características con un ahorro en llamadas indudablemente importante consiguiendo una buena calidad de voz equivalente al sistema anterior mediante los mecanismos de QoS estudiados y comprobados haciendo uso de software libre, dando una nueva perspectiva a los usuarios de telefonía de la compañía, permitiendo a éstos movilidad a cualquier parte del mundo sin necesidad de generar un gasto extra, pudiendo conectarse directamente a la plataforma y realizar cualquier tipo de llamadas libremente, según sea el caso.

Ahora SERVIMECA, C.A tendrá control absoluto de las llamadas de cada usuario con un sistema estable y de calidad, lo que conlleva a abarcar en su totalidad el objetivo principal planteado de la investigación, en unión con el logro de cada uno de los objetivos específicos.

Gracias al previo Análisis del Sistema y Levantamiento de Información planteado en la metodología, se propone para el Diseño del Sistema que se empleen todos los recursos actuales de la compañía, dando como consecuencia un ahorro

económico significativo en el presupuesto para los nuevos equipos. Para el Análisis de Tráfico de las líneas externas, se logró comprobar el modelo Erlang-B (en el peor de los casos) y se determinó un número de líneas según la información del tráfico obtenido de la factura prestada por la compañía, acertando con el estudio de simultaneidad realizado, dando salida a cualquier número externo que el usuario desee llamar, proporcionando redundancia luego con el control de llamadas de los usuarios realizado en el Plan de Llamadas por el Contralor de la Compañía. Éste Plan de Llamadas también da redundancia a los cálculos de tasas de transmisión realizados en el Diseño del Sistema, debido a que se diseñó para que casi todos los usuarios pudieran llamar.

Debido a la evaluación comparativa realizada entre los *softswitch* se dieron a conocer las múltiples características, ventajas y desventajas que cada uno puede brindar, dando como resultado la escogencia del *softswitch* más popular del mercado Asterisk. Se observó que éste al tener una estructura modular, es el que posee mayor flexibilidad a la hora de adaptarlo a las necesidades específicas de un sistema de telefonía IP, tomando en cuenta las diversas cualidades y servicios de valor agregado que posee. Al tratarse de software libre, siempre es importante escoger los más conocidos debido a que poseen un soporte más robusto y puede ayudar a resolver fallas en un futuro.

Un importante punto en la metodología fue la realización de las Pruebas Piloto, ya que al realizar la simulación de los enlaces críticos de la compañía, además de comprobar el correcto funcionamiento de los mecanismos de calidad de servicio en una situación “crítica”, se observó que los enrutadores MIKROTIK tenían una importante característica que permite utilizar el ancho de banda reservado para la voz mientras éste no se esté usando, cuestión que fue comprobada y luego ajustada al Diseño del Sistema, quedando MIKROTIK como marca recomendada para los enrutadores por éste y otros beneficios definidos en el análisis técnico-económico. En

este punto también se observó las ventajas que puede proporcionar trabajar bajo un ambiente virtualizado como por ejemplo un mayor control sobre la plataforma y un ahorro indudable al no tener que depender de equipos reales, estando éstos simulados a través de software. Sin embargo es recomendable para futuros escenarios de prueba, siempre que sea posible realizarlas sobre la red real disponible del sistema, logrando de esta manera evaluar en campo el efectivo funcionamiento de las configuraciones efectuadas.

La aplicación de las técnicas de QoS dependen del sistema en donde se vaya a desplegar la tecnología, en este caso no se hizo uso de protocolos comúnmente utilizados de capa 3 como el *DiffServ* porque no se tenía control de empaquetado después del borde de la red, por lo que se recurrió a otros mecanismos prioridad justo en los cuellos de botella. Normalmente en los segmentos de LAN se tiene suficiente capacidad de transmisión para escenarios como los trabajados en este proyecto, por lo que estos enlaces no se consideran críticos. Sin embargo, es buena práctica aplicar técnicas como VLAN (IEEE 802.1q) y priorización de transmisión de tramas con IEEE 802.1p para aislar el tráfico de voz del tráfico de datos. Para futuros diseños de este tipo de sistema se recomienda realizar un análisis para determinar cuáles mecanismos QoS son los que mejor se adaptan y cuáles trabajan en coherencia, ya que existe diferentes mecanismos para cada caso y este es quizás el punto más delicado de todo proyecto de telefonía IP, la calidad en la transmisión de voz. Otro punto interesante como recomendación, sería aplicar otros mecanismos de QoS de capa 3 para comparar desempeño, por ejemplo, IntServ/RSVP y MPLS en el *core*.

Se recomienda para una futura implementación aumentar el ancho de banda en el enlace de El Tigre, si se desea agregar más usuarios a la red de telefonía, ya que fue diseñado para ser un sistema escalable. También se podría evaluar el impacto de una menor tasa de transmisión al comparar el códec G.729 con el G.711 y verificar

qué cantidad de llamadas simultáneas se pueden realizar cambiando el códec en los enlaces de acceso disponibles (ADSL y Satelital).

El ahorro más significativo se logró visualizar en la evaluación de costos, comparando la misma factura usada con el nuevo sistema, encontrando un ahorro de 77.88% en la mensualidad, sin tomar en cuenta la limitación de las llamadas, por lo que éste ahorro será mayor, dando a SERVIMECA, C.A la oportunidad de reducir costos y seguir manteniendo un excelente servicio.

CAPITULO VII

GLOSARIO DE TERMINOS

3G: 3 Generation

ADSL: Asynchronous Digital Subscriber Line

AF: Assured Forwarding

ARP: Address Resolution Protocol

ATA: Analog Telephone Adapter

ATM: Asynchronous Transfer Mode

BE: Best Effort

COPS: Common Open Policy Service Protocol

CoS: Class of Service

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

DISA Direct Inward System Access

DSCP: Diffserv Code Points

EF: Expedited Forwarding

FXO: Foreign Exchange Office

FXS: Foreign Exchange Station

GNU, GPL: General Public License

GRE: Generic Routing Encapsulation

GSM: Global System for Mobile Communication

HTTP Hypertext Transfer Protocol

IAX: Inter-Asterisk Exchange

IETF: Internet Engineering Task Force

IntServ: Integrated Service

IPSEC: Internet Protocol Security

ISDN: Integrated Service Digital Network

ISP: Internet Service Provider

IT: Information Technology

ITU: International Telecommunications Union

LAN: Local Area Network

MAC: Media Access Control

MGCP: Media Gateway Control

NAT: Network Address Translation

NIC: Network Interface Controller

PBX: Private Branch Exchange

PCM: Pulse Code Modulation

PLC: Packet Loss Concealment

PPP: Point to Point Protocol

PPTP: Point To Point Tunneling Protocol

PQ: Priority Queue

PSTN: Public Switched Telephone Network

QoS: Quality of Service

RMON: Remote Network Monitoring

RSVP: Resource Reservation Protocol

RTP: Real Time Protocol

SCCP: Skinny Client Control Protocol

SIP: Session Initiation Protocol

SNMP: Simple Network Management Protocol

STUN: Simple Transversal of UDP over NAT

TCP: Transmission Control Protocol

TOS: Traffic Class Expediting

TURN: Transversal Using Relay NAT

UDP: User Datagram Protocol

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UPF: User Priority Field

VLAN: Virtual Local Area Network

VoIP: Voice over IP

VPN: Virtual Private Network

WAN: Wide Area Network

BIBLIOGRAFÍA

- 1Legacall*. (s.f.). Recuperado el 27 de Octubre de 2011, de <https://1legcall.com/default.php>
- Alvarez, S. (2005). *Scielo*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2011, de Configuración de Calidad de Servicio en redes IPV4 e IPV6 en Red de Fibra Optica WDM:
<http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v13n3/art15.pdf>
- AT&T. (2002). *RFC 3261 SIP: Session Initiation Protocol*. Recuperado el 6 de Agosto de 2011, de IETF Organization: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>
- Audio Codes*. (s.f.). Recuperado el 27 de Octubre de 2011, de
<http://www.audiocodes.com/products/vmas-for-mobile-devices>
- Carballar Falcón, J. A. (2006). *VoIP. LA TELEFONÍA DE INTERNET*.
- CounterPath*. (s.f.). Recuperado el 2011 de Octubre de 28, de
<http://www.counterpath.com/enterprise-mobility-gateway.html>
- Cruz, D. (2007). *PUCP*. Recuperado el 9 de Agosto de 2011, de Trabajos de grado:
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/205/QUINTANA_DIEGO_DISENO_RED_TELEFONIA_IP_RAAP.pdf?sequence=2
- EscuderoPascual, A., & Berthilson, L. (2006). *VoIP para el desarrollo*. International Development.
- Landívar, E. (2008). *Comunicaciones Unificadas con Elastix*.
- Linphone*. (s.f.). Recuperado el 5 de Noviembre de 2011, de <http://www.linphone.org/>
- Meggelen, J. V., Smith, J., & Madsen, L. (2005). *Asterisk, The Future of Telephony*. O'Reilly.
- Mobile Dialer*. (s.f.). Recuperado el 29 de Octubre de 2011, de
<http://www.itelmobiledialer.com/products/mobile-voip-dialer-features.php>
- Nivelo, R. (Junio de 2010). *BibDigital*. Recuperado el 8 de Agosto de 2011, de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2186/1/CD-2938.pdf>
- PILLOU, J.-F. (2008). *NAT*. Recuperado el 7 de Agosto de 2011, de Kioskea Web Site:
<http://es.kioskea.net/contents/protect/nat.php3>
- Poe, R. (5 de Mayo de 2007). *Voip News*. Recuperado el 12 de Octubre de 2011, de
<http://www.voip-news.com/feature/which-mobile-voip-to-choose-051507/>

**Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.**

Sellés Rosa, F. (2009). *Introducción a la telefonía IP utilizando estándares*.

Wallingford, T. (2005). *Switching to VoIP*. O'Reilly.

ANEXO A

EJEMPLO ENCUESTA REALIZADA A LOS USUARIOS DE TELEFONOS FIJOS

ENCUESTA -TRÁFICO DE LLAMADAS

La finalidad de la presente encuesta es determinar el tráfico de llamadas salientes desde los teléfonos fijos de CANTV actuales en SERVIMECA, C.A para el diseño de un nuevo sistema de telefonía vía Internet.

Tiempo de Evaluación: 1 Semana.

Fecha de Inicio: 23. 08 2011

Fecha de Culminación: 29. 08. 11.

Nombre: GUSTAVO SOLORZANO

Cargo: CONTRALOR

Departamento: CONTRALORIA.

Instrucción:

1. Usted por cada llamada realizada durante 5 días continuos, desde el teléfono fijo CANTV, deberá marcar con un lapicero un recuadro que representa cada llamada, correspondiendo con el operador de destino (indicado en la leyenda).

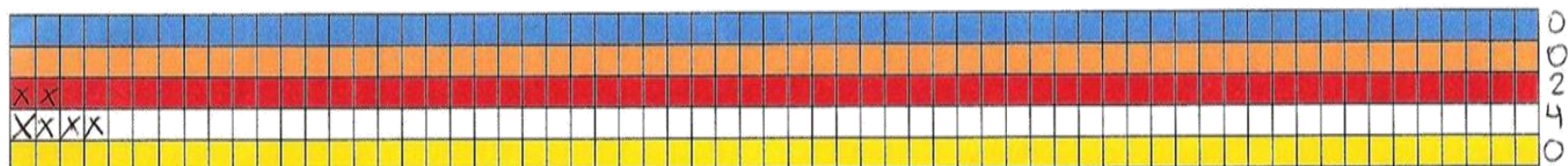
Esta encuesta tiene como objetivo mejorar los procesos de comunicación en beneficio de ustedes y de la empresa.

Leyenda de Operadores:

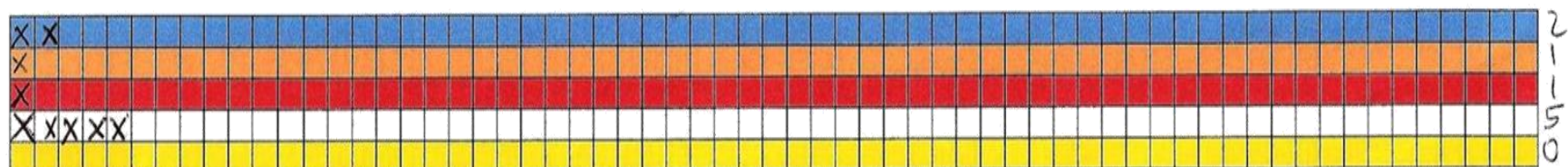
Movistar	-	
Movilnet	-	
Digitel	-	
Teléfono Fijo	-	
Llamada Internacional	-	

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

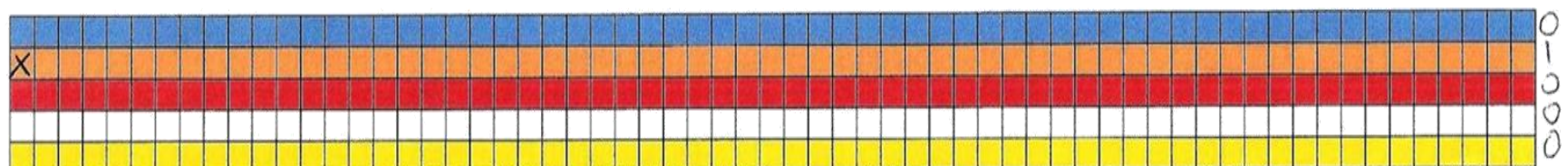
Realizado por: Daniel Prado



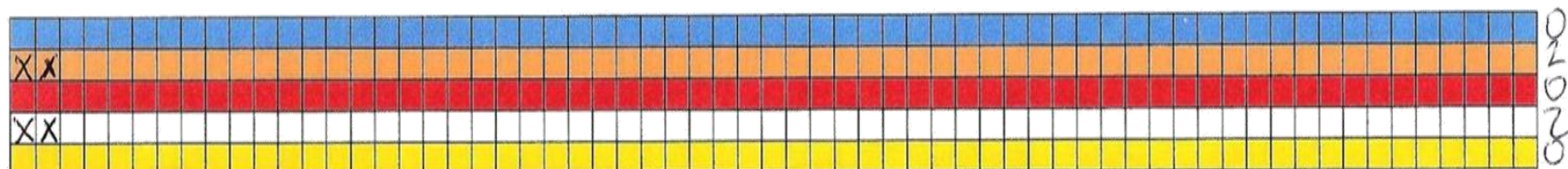
PRIMER DÍA



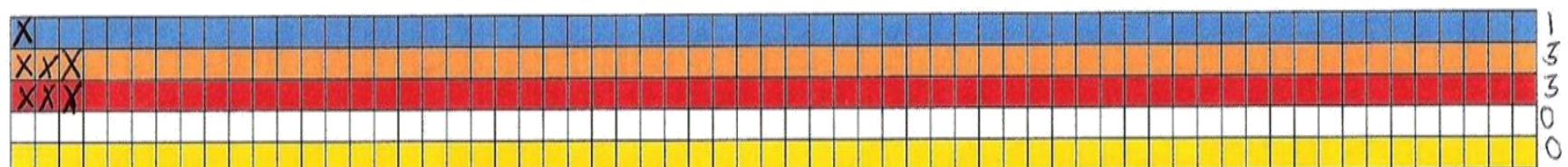
SEGUNDO DÍA



TERCER DÍA



CUARTO DÍA



QUINTO DÍA

ANEXO B

MANUALES Y TUTORIALES DE INSTALACIÓN

- Softphone LINPHONE

La documentación para la instalación y configuración del softphone en los computadores y equipos celulares se encuentra en la siguiente dirección URL: <http://www.linphone.org/eng/documentation/>.

- Asterisk FREE PBX Distro (incluye sistema operativo)

En la siguiente dirección se encuentra las instrucciones para la instalación del software. URL: <http://www.freepbx.org/support/documentation/installation>.

En la siguiente dirección se encuentran las configuraciones descritas, tales como configuración SIP del servidor, contraseñas, *trunks*, extensiones, módulos especiales y servicios de valor agregado. URL: <http://www.freepbx.org/support/documentation/installation/first-steps-after-installation>

En la siguiente dirección se encuentra la configuración para extensiones remotas URL: <http://www.freepbx.org/support/documentation/howtos/howto-setup-a-remote-sip-extension>

En la siguiente dirección se encuentra la configuración de las tarjetas FXS/FXO para las llamadas externas. URL: <http://www.freepbx.org/support/documentation/installation/first-steps-after-installation/installing-and-configuring-a-sango>.

ANEXO C

ELECCIÓN DEL HARDWARE

ENRUTADORES

Marca	Modelo	Unidades	Traffic Shapping	Esquema de Cola PQ	Fast Ethernet	Precio por Unidad (US\$)	Total (US\$)
MIKROTIK	RB750UP	2	•	•	•	59,59	119,18
CISCO	RV110W	2	•	•	•	79,90	159,8

ELECCIÓN:

Los dos equipos seleccionados cumplen con todos los requerimientos establecidos, sin embargo la marca MIKROTIK es mejor opción económicamente hablando y es la usada como ejemplo en las pruebas realizadas, por lo que se escoge como marca de enrutador.

SWITCHS

Marca	Modelo	Unidades	Puertos	802.1 p	802.1q (VLAN)	Fast Ethernet	Precio por Unidad (US\$)	Total (US\$)
TP-LINK	TL- SL5428E	2	24	•	•	•	255,53	511,06
CISCO	SF 100-24	2	24	•	•	•	90,61	181,22
D-LINK	DES-1024D	2	24	•	•	•	89,9	179,8

ELECCIÓN:

Los tres equipos seleccionados cumplen con los requerimientos, sin embargo como por cuestiones de costos, de calidad y popularidad se escoge la marca CISCO para los *switchs*.

Análisis y diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre a través de *softswitch*
con priorización de voz Caso empresa SERVIMECA, C.A.

ATA'S

Marca	Modelo	Unidades	Puertos FXO	802.1p	802.1q	DHCP	SIP	Precio por Unidad (US\$)	Total (US\$)
GRANDSTREAM HANDY TONE	HT286	7	1	•	•	•	•	32,69	228,63
CISCO	ATA186	4	2	•	•	•	•	150	600

ELECCIÓN:

Los dos dispositivos ATA cumplen con los requerimientos del sistema, aunque por cuestiones de comodidad es más conveniente la marca GRANDSTREAM HANDY TONE debido a que se podrá conectar un teléfono por ATA y no 2 como en el caso de CISCO. Adicionalmente GRANDSTREAM HANDY TONE conviene mucho más económicamente.