



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

### **CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

#### **TEMA:**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA IP BASADO EN SOFTWARE LIBRE E INTEGRACIÓN CON LA RED DE DATOS; COMO ALTERNATIVA DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE EL PROTOCOLO IP ENTRE DEPENDENCIAS DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE SAN MIGUEL DE IBARRA”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**AUTOR: ALEXANDRA NATALY CULQUI MEDINA**

**DIRECTOR: ING. CARLOS VÁSQUEZ**

**Ibarra, marzo 2013**

# Diseño de un Sistema de Telefonía IP basado en software libre e integración con la red de datos; como alternativa de comunicación de voz sobre el protocolo IP entre dependencias del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra

Carlos A. Vásquez, Nataly A. Culqui

**Resumen**— El presente documento da a conocer el proceso de Diseño de un Sistema de Telefonía IP basado en software libre e integración con la red de datos; como alternativa de comunicación de voz sobre el protocolo IP entre dependencias del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, con el propósito de modernizar la comunicación de voz, mejorar el servicio al cliente interno y externo, y sobre todo que el proyecto represente ahorro económico en los abonos telefónicos.

El proyecto se basa en el estudio de varias alternativas de software libre para comunicación de voz sobre el protocolo IP, que se ajuste a las necesidades de la entidad pública y permita una solución VoIP factible y escalable.

*Índice de Términos*— NGN, PBX, SIP, VoIP

## I. INTRODUCCIÓN

EL Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Ibarra (GAD-I) se encuentra inmerso en el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación, exigiendo a la infraestructura de comunicaciones actual adaptarse a la migración de cambios tecnológicos que soporten el tráfico de voz, video y datos que permitan incrementar la productividad de los procesos internos y externos de la entidad y sobre todo reducir el abono telefónico mensual. Por tal razón la implementación de un sistema de

telefonía de voz sobre el protocolo IP, es una solución inteligente ante el gran crecimiento y cambios tecnológicos en las comunicaciones; el cual permite integrar varias funcionalidades y características avanzadas en relación a una central PBX tradicional, adaptándose a la infraestructura de red actual de la entidad.

La entidad requiere de una convergencia total a un sistema de telefonía IP basado en una plataforma de software libre que permita flexibilidad, escalabilidad, gran variedad de servicios de voz y sobre todo que el proyecto sea viable económicamente, conveniente y contribuya con el logro de objetivos del GAD-I.

## II. CONCEPTOS BÁSICOS

### A. Definición de VoIP

La tecnología de voz sobre el Protocolo de Internet o VoIP por el acrónimo de Voice over Internet Protocol, es un método que permite que la señal de voz (analógica) sea muestreada y codificada en señal digital y viaja en forma de paquetes con métodos de compresión, por un cierto ancho de banda (broadband) en un enlace, para realizar y recibir llamadas telefónicas desde y hacia una dirección IP.

### B. Funcionamiento de VoIP

Al realizar una llamada IP, la central telefónica establece una conexión permanente entre los puntos de origen y destino, lo que permite llevar las señales de voz por un cierto ancho de banda en un enlace de datos o en una red pública (internet). Se muestra el funcionamiento de una red VoIP en la siguiente figura (ver Figura 1):

---

Documento recibido el 25 de marzo del 2013. Esta investigación se realizó como proyecto previo para obtener el título profesional en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

C.A. Vásquez, trabaja en la Universidad Técnica del Norte, en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Av. 17 de Julio sector El Olivo, Ibarra-Ecuador (teléfono: 5936-2955-413; e-mail: cava\_6@hotmail.com)

N.A. Culqui, egresada de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación (teléfono 5936-2604-094; e-mail: nathalymedina@hotmail.com)

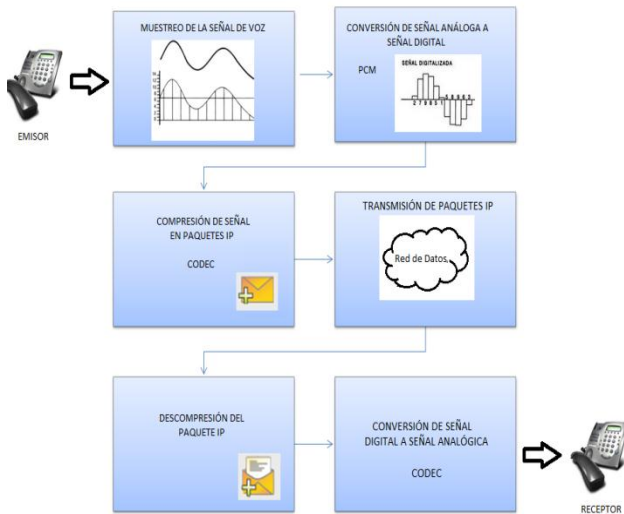


Figura 1. Funcionamiento de VoIP

Fuente: Adaptado de Reyes Augusto, F. C. (2010). Fundamentos y arquitectura de una red VoIP. EPN, Quito.

### C. Características de la Tecnología VoIP

La tecnología VoIP presenta las siguientes características:

- Permite enviar información de voz en paquetes IP sobre cualquier red (Ejemplo: redes LAN, WAN, etc.) permitiendo la integración de servicios de fax, mensajería instantánea, correo de voz y videoconferencias.
- Proporciona conectividad con la PSTN.
- Usa estándares internacionales abiertos que permiten integrar varios servicios, equipos, protocolos y códecs.
- Puede realizar distintas conexiones al mismo tiempo usando los mismos recursos de la red en función de las necesidades de transmisión.
- En la misma red LAN y WAN de la empresa se puede implementar el servicio de telefonía IP sin costo alguno en llamadas; ya que utiliza la misma infraestructura de red de datos para enviar tráfico de voz, administrar y controlar las llamadas.

### D. Arquitectura de una red VoIP

Los elementos principales de una red de telefonía IP se muestran a continuación (ver Figura 2):

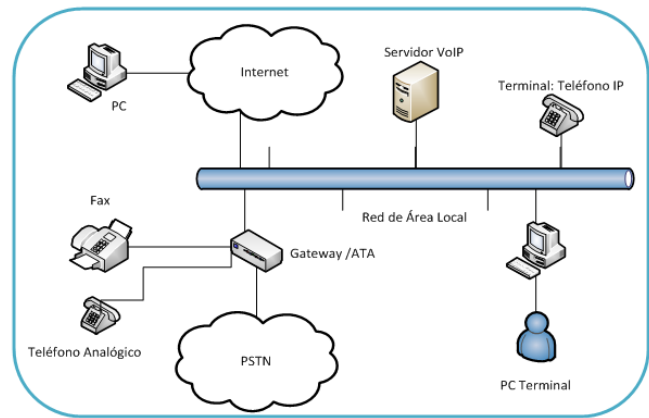


Figura 2. Arquitectura de una red VoIP

Fuente: Adaptado de Reyes Augusto, F. C. (2010). Fundamentos y arquitectura de una red VoIP. EPN, Quito.

### Terminales

El cliente es quien establece y finaliza las llamadas, usando un terminal de voz, que le permite emitir la información codificada, luego la empaqueta y transmite a través del micrófono del usuario, de la misma forma la información se decodifica y se reproduce a través de los altavoces o audífonos en otro terminal del usuario destino en una red de datos. Un terminal puede ser un softphone que se instala en un computador o un teléfono físico IP que tiene soporte VoIP nativo.

### Servidores VoIP

El servidor VoIP tiene como objeto manejar y gestionar todo tipo de operación en tiempo real o no en tiempo real, para realizar la contabilidad, recolección de información, enrutamiento, administración y control de servicios, el registro de cuentas de usuarios y llamadas entrantes y salientes. El servidor está conectado a la PSTN mediante la red de datos e internet, para brindar el servicio de telefonía IP y otras prestaciones a los usuarios finales (ver Figura 2).

### Gateways / ATA

Un Gateway es una puerta de enlace que se encarga de adaptar las señales de voz a las redes VoIP y viceversa, también conocido como dispositivo ATA (Adaptador telefónico Analógico) que proporciona un puente de comunicación entre la red VoIP con la PSTN.

### E. Central IP PBX

Una central IP PBX viene de la unión de las funcionalidades típicas de una central PBX, pero con la diferencia que permite la integración de la telefonía y la transferencia de datos por una misma red sobre el protocolo de Internet (IP); lo cual permite una sola gestión del tráfico de voz y datos.

### F. Softswitch

“El Softswitch es el principal dispositivo en la capa de control dentro de una arquitectura NGN (Next Generation Network), encargado de proporcionar el control de llamada (señalización y gestión de servicios), procesamiento de llamadas, y otros servicios, sobre una red de conmutación de paquetes (IP).” (WIKIPEDIA. Recuperado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Softswitch>)

En el caso de una red privada de VoIP, se mantiene el concepto de servidor y gestor de llamadas; atribuyéndole características y funcionalidades similares a una central IP PBX de gran potencia y flexibilidad. Además es una plataforma eficiente que maneja estándares abiertos para conseguir la integración de servicios y aplicaciones de voz, video, datos y multimedia, en redes NGN.

### G. Troncal SIP

Una troncal SIP se refiere a un grupo de líneas telefónicas basada en la tecnología VoIP, que permite a la central IP PBX de una empresa, establecer una conexión de datos con el proveedor de servicios de telefonía, para adquirir los servicios de voz, video y datos por un mismo medio; la cual reemplaza a las anteriores troncales analógicas y digitales, con mejores características técnicas y funcionales en las comunicaciones de voz sobre el protocolo IP.

### H. Protocolo SIP

SIP (Protocolo de Inicio de Sesión) es un estándar para establecer, modificar y terminar sesiones interactivas entre múltiples usuarios de una red IP, en la que se puede transmitir voz, video, mensajería

instantánea, juegos en línea y realidad virtual. Las funciones principales del protocolo SIP son:

- Redirección de llamadas.
- Resolución de direcciones.
- Determinar la disponibilidad de un punto final.
- Establecer llamadas punto a punto o multipunto.

### Pila de protocolos de SIP

Para el funcionamiento de SIP, trabaja conjuntamente con distintos protocolos como son SDP (Session Description Protocol, Protocolo de Descripción de Sesión) para la señalización, RTP y RTCP para el transporte de audio y video en tiempo real. (ver Figura 3).

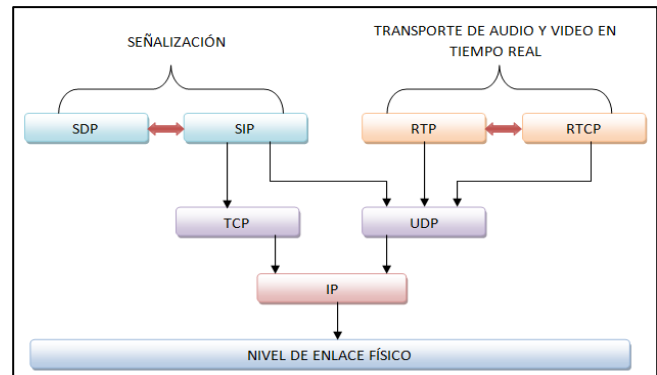


Figura 3. Pila de Protocolos de SIP

Fuente: Adaptado de Rodolfo Castañeda. (2005). Protocolo SIP. Dirección de Telemática, CICESE.

### I. Factores que influyen el ancho de banda de una red de voz y datos

El impacto que tiene la transmisión de voz en el ancho de banda de una red presenta algunos factores que se muestran a continuación (ver Tabla 1):

Tabla 1. Factores que influyen el Ancho de Banda de una red de voz y datos

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Velocidad del paquete	Derivado del período de empaquetamiento
Tamaño de empaquetamiento (Tamaño del payload)	Depende del periodo de empaquetamiento
Overhead de capa de enlace	Depende el ancho de banda del código
Overhead de capa red y transporte (Incluyendo IP, UDP y RTP)	Depende del protocolo usado en la capa enlace
Overhead de túnel	Depende del uso o no de cRTP
	Depende el protocolo usado (IPSec, o MPLS)

### J. Teoría del tráfico de voz

El flujo de tráfico se mide en Erlang que representa el uso continuo de un canal de voz en un determinado tiempo; lo que significa que indica la cantidad de horas de ocupación por hora.

El Erlang es una unidad adimensional que corresponde al volumen de tráfico en telefonía, el cual permite determinar cuántas líneas (troncales) puede manejar en una hora de mayor tráfico de acuerdo a la equivalencia:

1 Erlang = 60 minutos de llamada = 3600 segundos de llamada

A través del cálculo del flujo de tráfico en Erlang permite conocer el dimensionamiento de un sistema, si requiere más troncales o está sobre dimensionado y de esta forma determinar el número de troncales requeridas para un sistema VoIP. Para esto es necesario conocer la cantidad de tráfico generado y el GoS requerido. El flujo de tráfico se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$A = C \times T$$

Ecuación 1. Flujo de tráfico

- **A:** tráfico ofrecido o flujo de tráfico a través de una central telefónica.
- **C:** número de llamadas originadas en el período de una hora o número de ocupaciones ofrecidas.
- **T:** tiempo promedio de duración de una llamada. Se agrega entre un 10 y 16% a la longitud promedio de las llamadas que permite contabilizar tiempos adicionales dentro de la llamada.

### III. SOFTWARE LIBRE PARA TELEFONÍA IP

AsteriskNow, Elastix y Trixbox presentan similares funcionalidades y características basadas en Asterisk, por lo tanto usan el mismo núcleo y API de Asterisk, el cual por ser abierto a cambios crea repeticiones en el código de los módulos causando interbloqueos en los procesos de los módulos. Además utilizan una arquitectura modular

muy conservadora en donde el núcleo central tiene dependencias ligadas con los módulos para extender la funcionalidad, en el caso que alguno no se encuentre instalado, el sistema no inicia. Los módulos permiten implementar protocolos específicos como SIP, funcionalidades de un IVR e integrar la interfaz de administrador de Asterisk (AMI Asterisk Manager Interface).

Asterisk presenta un modelo cerrado de threads o hilos de ejecución, que se utilizan solo en canales de creación o canales que ejecutan alguna aplicación. Por ejemplo en una llamada, el call leg o tramo de llamada B opera en un mismo thread que leg A, en el caso de desplegar un evento como una transferencia de llamada, primeramente el canal es transferido a un modo especial para operar threads que por lo general muestra una práctica no adecuada, llamada enmascaramiento de canal; lo cual provoca la aparición de 3 a 4 canales durante una única llamada; siendo un proceso muy ineficiente.

FreeSWITCH usa exclusiones mutuas (comúnmente abreviada como mutex por mutual exclusion) en relación a la plataforma de Asterisk que utiliza listas enlazadas para manejar canales de comunicaciones que han sido abiertos; los cuales son muy útiles pero cuando se realiza el uso masivo de threads se complica las soluciones. La utilización de mutex facilita el uso de los threads ya que permiten el uso adecuado de memoria; es decir cuando un thread quiere hacer uso de la misma memoria de otro thread, el primero en haber llamado al mutex el cual reserva la memoria es el único que podrá cambiar la memoria hasta que el mutex se haya cerrado y de esta manera se previene que dos o más threads manipulen al mismo tiempo espacios de memoria que tiene resultados inesperados.

FreeSWITCH es una de las mejores plataformas libres de gran capacidad y flexibilidad para telefonía IP ante las distribuciones de Asterisk; ya que no solo es un simple PBX o IVR, sino que fue creada con el propósito de ser un software especializado como uno de los conmutadores puros que estrictamente encaminan llamadas como GnuGK y SER (SIP Express Router) o

comúnmente llamado Softswitch. Además proporciona bloques para el desarrollo de aplicaciones en lenguajes soportados, tales como una central telefónica, un sistema de buzón de voz, multi conferencias, directorios y entre otras aplicaciones personalizadas.

FreeSWITCH puede funcionar correctamente tanto en pequeñas y medianas empresas como en grandes compañías de telecomunicaciones que abarcan tecnologías para el tráfico de voz, video, multimedia y datos, capaz de interactuar con la infraestructura de red instalada. Es una plataforma de gran interoperabilidad con PBX tradicionales así también con sistemas de telefonía IP.

#### A. Características Generales:

- Proporciona una arquitectura modular y escalable alrededor de un núcleo de conmutación estable.
- Cada canal posee su propio thread o hilo de ejecución, el cual utiliza una función de estado de la máquina para navegar a través del núcleo. Esto asegura que cada canal siga el mismo camino predecible.
- Soporta diversas tecnologías de comunicaciones como SIP, H.323, IAX2 y GoogleTalk.
- Permite operar en frecuencias de 8, 16 y 32 kilohertz para canales de voz y módulos de conferencias.
- La administración de llamadas se realiza mediante Dialplan XML o a través de la interfaz Event Socket, la cual es una conexión socket al servidor FreeSWITCH.
- FreeSWITCH aprovecha una serie de bibliotecas que ya existen para ampliar e integrar una variedad de tecnologías.
- Integración con Redes NGN ya que permite la comunicación de voz, video y datos.
- Permite el funcionamiento nativo sin dependencia alguna, en sistemas operativos de 32 y 64 bits como Windows, Linux, Unix, etc.
- Soporta distintos códec de audio como G.711  $\mu$ -law / A-law, G.722, G.726, G.729 (passthrough), G.729 (requiere de licencia,

\$10/canal), GSM, CELT, iLBC, BroadVoice, Speex, G.723.1 (solamente passthrough), AMR (passthrough).

- Soporta varios códec de video como H261, H263, H264, Theora (passthrough), MP4 (passthrough)

#### B. Funcionamiento de FreeSwitch

FreeSWITCH no es un servidor proxy, actúa como un agente de usuario back-to-back o B2BUA que incluye las funcionalidades de una IP PBX para construir la solución softswitch. Por lo general esta característica se encuentra en los gateways pero FreeSWITCH integra las funcionalidades de B2BAU que le permite realizar control de llamadas manteniendo el estado completo de las mismas para obtener información de los tramos de la llamada o call leg; lo cual significa la conexión entre dos dispositivos.

FreeSWITCH se basa en un núcleo central alimentado por un centro de registro XML, y rodeado de varios módulos que se comunican entre sí a través de la central. Para realizar una llamada establece el siguiente proceso:

- Se registra los teléfonos IP o softphone en el registro XML.
- FreeSWITCH opera entre dos puntos extremos de una llamada telefónica o una sesión de comunicaciones y divide el canal de comunicación en dos tramos o legs A y B, actuando como intermediario de señalización en todas las llamadas SIP de extremo a extremo, durante el establecimiento y terminación de la llamada.
- En el tramo de la llamada originada (A), B2BUA actúa como un servidor de agente de usuario (UAS) y procesa la solicitud de un cliente de agente de usuario (UAC) para llevarlo al destino. Cada tramo de B2BUA funciona como un elemento de red SIP.
- Cuando el tramo A hace una llamada, el módulo SIP envía una solicitud al plan de marcado XML, para comparar los dígitos marcados con una serie de coincidencias llamados expresiones regulares; en el servidor.

- Una vez que ha encontrado una coincidencia, los datos de la extensión XML se copian al canal local, el cual contiene una lista de instrucciones que se ejecutarán en la próxima etapa de la llamada.
- En el caso de ser una llamada al exterior, FreeSWITCH se conecta con la PSTN.
- Se puede observar los datos de la llamada que está disponible cada vez que un canal se encuentra en estado de enrutamiento.
- Por último la comunicación se establece entre los dos tramos de la llamada.

### C. Requerimientos mínimos del sistema

Los requerimientos mínimos del sistema para el funcionamiento de FreeSWITCH son:

- **Sistema Operativo:** Plataforma de 32-bit (64-bit recomendado)
- **Memoria RAM:** 512MB (1GB recomendado)
- **Espacio en Disco:** 50MB
- **Sistema operativo:** Soporta Linux, Windows, Unix, MacOS, el que prefiera el administrador de la red.

### D. Interfaz Gráfica FusionPBX

FusionPBX es un interfaz web altamente personalizable y flexible para administrar las distintas funcionalidades de FreeSWITCH, como son el registro de cuentas, manejo del Dialplan, estado del tráfico de llamadas, condiciones de tiempo de llamadas y entre otras características que facilitan el trabajo del administrador de la red.

## IV. ANÁLISIS DEL TRÁFICO DE LLAMADAS

Para tener una estadística del tráfico de voz se debe obtener las llamadas entrantes y salientes de la central telefónica; se refiere a la estimación de la cantidad máxima de llamadas simultáneas que se podrán cursar sobre un enlace.

### A. Tráfico entrante

Para calcular A (flujo de tráfico) es necesario determinar el tiempo promedio (T) de duración de

cada llamada por día.

Tabla 2. Datos del tráfico de voz por día

Fecha / año 2012	Nro. Ocupaciones	Duración de llamadas (s)	T (s/ocup)
Miércoles 2 de mayo	363	35645	98,20
Jueves 3 de mayo	320	32663	102,07
Viernes 4 de mayo	289	31396	108,64
Lunes 7 de mayo	403	43983	109,14
Martes 8 de mayo	325	33624	103,46
<b>TOTAL</b>	<b>1700</b>	<b>177311</b>	<b>104,30</b>

A continuación se muestra la tabla resumen de las horas pico de cada día de la semana (ver Tabla 3).

Tabla 3. Flujo de tráfico y hora pico por día

Fecha / año 2012	Hora pico	A (Erl)
<b>Miércoles 2 de mayo</b>	8:00 - 8:59	1,53
<b>Jueves 3 de mayo</b>	10:00 - 10:59	1,64
<b>Viernes 4 de mayo</b>	11:00 - 11:59	1,27
<b>Lunes 7 de mayo</b>	16:00 - 16:59	2,18
<b>Martes 8 de mayo</b>	10:00 - 10:59	1,64

Se puede observar en la Tabla 3 la hora pico que tiene mayor flujo de tráfico con un 2,18 Erl es el día lunes 7 de Mayo del 2012 de 16:00 a 17:00.

Para obtener el flujo de tráfico de cada troncal de entrada, se debe considerar el tiempo promedio (T) obtenido de los cálculos realizados en la Tabla 3, para el día lunes 7 de mayo a las 16:00 que se muestra en la siguiente tabla (ver Tabla 4):

Tabla 4. Flujo de tráfico entrante por cada troncal

N° troncal	Número telefónico	N° ocupaciones	tm(s/ocup)	A(Erl)
1	2950-512	19	104,30	0,55
2	2950-731	11	104,30	0,32
3	2950-913	2	104,30	0,06
4	2950-120	13	104,30	0,38
5	2950-211	10	104,30	0,29
6	2950-151	8	104,30	0,23
7	2950-154	2	104,30	0,06
8	2950-691	6	104,30	0,17
11	2611-390	1	104,30	0,03
<b>TOTAL</b>		<b>72</b>		<b>2,09</b>

La sumatoria de los flujos de tráfico de cada troncal de entrada, se pudo obtener un total de 2,09 Erl, siendo un valor muy próximo al anterior (2,18), tomando en cuenta un tiempo promedio (T) solo de las ocupaciones del día lunes.

Para deducir el flujo de tráfico promedio por cada troncal, se divide el flujo de tráfico total para el número de troncales de entrada como se muestra a continuación:

$$A = \frac{2,09 \text{ Erl}}{9 \text{ troncales}} = 0,23 \text{ Erl/troncal}$$

Por lo tanto cada troncal ocupa un promedio del 23% durante la hora de mayor tráfico.

A través de este análisis realizado se puede determinar que el flujo de tráfico actual aparentemente abastece para el tráfico entrante; pero es necesario considerar que existe líneas directas privadas en varias unidades las cuales se encuentran desperdiciadas ya que solo manejan el tráfico de aquella unidad siendo mucho menor al tráfico generado por la central telefónica.

### B. Tráfico saliente

El procedimiento para obtener el tráfico saliente es el mismo que el tráfico entrante pero con sus respectivos datos.

La sumatoria de los flujos de tráfico de cada troncal de salida, se pudo obtener un total de 0,4 Erl, siendo un valor muy próximo al anterior (0,66), tomando en cuenta un tiempo promedio (T) solo de las ocupaciones del día viernes.

Para deducir el flujo de tráfico promedio por cada troncal, se divide el flujo de tráfico total para el número de troncales de entrada como se muestra a continuación:

$$A = \frac{0,4 \text{ Erl}}{9 \text{ troncales}} = 0,04 \text{ Erl/troncal}$$

Por lo tanto cada troncal ocupa un promedio del 4% durante la hora de mayor tráfico.

## V. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA VOIP

Es necesario establecer algunos parámetros que permitan obtener los requerimientos necesarios para el dimensionamiento adecuado del sistema de telefonía IP, los cuales se detallan a continuación:

### A. Selección del códec

En la siguiente tabla (ver Tabla 8) se pueden observar los códecs que por lo general se utilizan para telefonía IP:

Tabla 8. Resumen de los Códecs más usados en sistemas VoIP

Nombre	Ancho de Banda (kbps)	¿Requiere licencia?	MOS	Característica
<b>G.711</b> <b>G.711.1</b>	64	No	4,40	Método de compresión y expansión, pero presenta buena calidad de voz
<b>G.722</b> , <b>G.722.1</b>	64 24, 32, 48	No	3 a 4	Compresión de voz en tecnología móvil de tercera generación.
<b>G.726</b>	16, 24, 32 o 40	No	3,85	Buena compresión. Poco procesamiento computacional. Utilizado en troncales internacionales.
<b>G.729</b> , <b>G.729A</b>	8	Si	4,07	G.729 en modo passthrough es una versión libre. Equilibrio entre calidad y ancho de banda.
<b>GSM</b>	13	No	3,7	Usado en redes GSM. Gran flexibilidad. Gran esfuerzo en el procesamiento.
<b>Speex</b>	Variable (entre 2.15 – 22.4 Kbps)	No	3	Gran robustez a pérdidas de paquetes en una transmisión de datos

Fuente: VoIP Foro. Comparación de códec. Portal web: <http://www.voipforo.com/codec/codecs.php>.

Para seleccionar el códec más adecuado para el sistema VoIP; se utilizará el método MOS (Mean Opinion Score) el cual permite establecer un parámetro de calidad de voz, que indica la puntuación media (de 0 a 5) otorgada por una cierta población de oyentes a la calidad conseguida por un códec ofrecido. En este caso el códec G.711 presenta un MOS de 4,40 (ver Tabla 8) siendo el más alto que los demás códecs, lo cual significa que presenta una comunicación de voz con imperfecciones que apenas son perceptibles, pero no molestan. Además el códec G.711 no tiene costo de licencias en relación al códec G.729.



### B. Cálculo del ancho de banda para una llamada

Para determinar el ancho de banda para cada llamada VoIP se requiere los siguientes datos:

Tabla 9. Información necesaria para realizar los cálculos del ancho de banda de la llamada VoIP

PARÁMETROS	DETALLE
Período de empaquetamiento	20 ms
Ancho de Banda del códec	G.711 A-Law de 64Kbps
¿Se requiere usar cRTP?	En el caso de la red LAN no requiere aplicar comprensión pero si es necesario en la red inalámbrica del GAD-I para obtener mejor transmisión de voz.
Overhead: IP + UDP + RTP	20 + 8 + 12 = 40 bytes
Tamaño del empaquetamiento (bytes)	160
Velocidad del paquete (pps)	50
Overhead capa enlace:	Red Ethernet: 18 bytes Ethernet Trunk 802.1Q: 22 bytes
¿Se está usando IPsec u otro protocolo tipo túnel?	La red del GAD-I no utiliza ningún protocolo tipo túnel.

Luego se calcula el ancho de banda total que requiere cada canal VoIP con los valores de la Tabla 9, en la siguiente fórmula:

$$\text{Requerimiento de Ancho de Banda [kbps]} = \frac{(\text{Tamaño total del paquete} \times 8)}{1000} \times \text{Velocidad del paquete [pps]}$$

Ecuación 2. Requerimiento de Ancho de Banda

Se debe considerar el overhead de capa 2, para resolver la fórmula anterior, en este caso el sistema de telefonía IP será implementado en una Red Ethernet; el cual consta con un overhead de 18 bytes. Además se debe considerar la utilización de VLANs para un mejor gestión del servicio, por lo tanto se aplicará el overhead de Ethernet Trunk 802.1Q de 22 bytes.

- Requerimiento de Ancho de Banda para un red Ethernet [Kbps] = 87,2 kpbs
- Requerimiento de Ancho de Banda para un red Ethernet Trunk [Kbps]=88,8 kpbs

### C. Cálculo del ancho de banda para el sistema VoIP

Para calcular el ancho de banda requerido para todo el sistema VoIP, se realiza los siguientes pasos:

- **Paso 1:** Estimar el ancho de banda requerido por cada canal VoIP para el códec G.711; en este caso el ancho de banda que se calculó anteriormente.
- **Paso 2:** Identificar el número de llamadas concurrentes que se esperan tener durante la hora de mayor tráfico. En la sección IV se puede apreciar el test de tráfico entrante así como el tráfico saliente del cual se obtuvo el número de ocupaciones y la hora de mayor tráfico de cada día.

Se debe considerar un margen de crecimiento de acuerdo a los resultados de las encuestas y del análisis de la red telefónica; por lo que se determina que existe una cierta cantidad de llamadas entrantes y salientes que son a través de líneas independientes y líneas de FAX. Por lo tanto se considera necesario aumentar un 30% del número total de ocupaciones. De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene un total de 94 ocupaciones aproximadamente.

- **Paso 3:** Luego multiplicar el número de llamadas concurrentes por el ancho de banda de cada llamada como se muestra a continuación:

Ancho de banda del sistema VoIP para una red Ethernet=94 x 87,2 Kbps = 8,2 Mbps

Ancho de banda del sistema VoIP para una Red Ethernet Trunk = 94 x 88,8 Kbps=8,34 Mbps

### D. Grado de servicio (GoS) para el sistema VoIP

El grado de servicio es un parámetro necesario para lograr la optimización de una red telefónica; lo cual significa que es la probabilidad de pérdida de llamadas. Para calcular cuántas líneas troncales necesita el GAD-I, se considera un grado de servicio del 1% para el tráfico entrante y saliente tomando en cuenta el modelo de distribución Erlang B. El 1% quiere decir que por cada 100 llamadas recibidas de tráfico entrante una se pierde y por cada 100 llamadas realizadas una es abandonada.

### E. Calculo del número de troncales

Para determinar el número de troncales requeridas

por el sistema VoIP de la entidad, es necesario conocer la cantidad de tráfico entrante y saliente generado y el GoS requerido; los cuales se muestran a continuación:

Tráfico entrante:

- GoS = 1% (0,01)
- A= 2,09 Erl (valor se encuentra en la Tabla Erlang B), se estima un crecimiento del 30% del flujo de tráfico entrante dando como resultado 2,717 Erl.

Según la tabla de la Probabilidad de Pérdida de Erlang B con un GoS del 1% para un flujo de tráfico de 2,717 Erl se verifica el requerimiento de troncales, de esta forma se obtiene que es necesario 8 troncales para el tráfico entrante.

Tráfico Saliente:

- GoS = 1% (0,01)
- A= 0,4 Erl (valor se encuentra en la tabla de Erlang B), se estima un crecimiento del 30% del flujo de tráfico saliente dando como resultado 0,52 Erl.

Según la tabla de la Probabilidad de Pérdida de Erlang B con un GoS del 1% para el tráfico saliente de A=0,52 Erl se verifica el requerimiento de troncales, de esta forma se obtiene que es necesario 4 troncales saliente para la implementación del sistema VoIP.

## VI. DISEÑO DEL SISTEMA VOIP

El sistema de telefonía IP propuesto para el GAD-I; se basa en la migración completa de una central analógica a una central IP, que permita aprovechar la infraestructura de red de datos actualmente instalada; logrando reducir costos de las tarifas de llamadas telefónicas y ofrecer gran variedad de herramientas.

### A. Especificaciones generales del sistema VoIP

El sistema VoIP debe cumplir con los siguientes parámetros:

- La central VoIP debe ser con arquitectura de

Soft-switch.

- La infraestructura telefónica debe estar acorde con la tecnología vigente permitiendo realizar una comunicación clara.
- Debe manejar el protocolo SIP
- Completa compatibilidad con troncales SIP.
- La solución debe tener una plataforma que soporte el manejo de extensiones analógicas y SIP.
- Tener capacidad de soportar el acceso a la red pública y facilidades de conexión sobre redes IP.
- El sistema debe cumplir con failover (conmutación por error); el cual permite que exista un conjunto de acciones en el caso de que una condición falle en la plataforma VoIP.
- La central debe contar con la capacidad futura de incorporar redundancia en varias funcionalidades tanto en hardware como en software, bajo demanda de la entidad.
- Compatibilidad del sistema VoIP con Windows, Linux.

### B. Requerimientos técnicos:

- Debe soportar más de 300 usuarios
- Capacidad de troncales SIP: se requiere un total 12 troncales iniciales tanto para tráfico entrante como tráfico saliente.
- Debe prever la capacidad futura y bajo demanda de generar extensiones remotas.
- Soporte de códec de voz: G.711 A-law
- Asignación de direcciones IP por medio de DHCP y estática.
- Debe soportar extensiones SIP

### C. Administración del sistema VoIP

- Administración y programación vía web.
- Soporte y manejo bajo demanda futura de aplicaciones para call center.
- Integración a las redes LAN/WAN
- Soporte y manejo bajo demanda Sistema Interactivo de voz (IVR) para una instalación a futuro.
- Reporte de información detallada de llamadas entrantes y salientes.

#### D. Características de seguridad

- Soporte SSL/TLS
- Soporte SRTP
- HTTPS interfaz web
- Secure provisioning debe contener cada teléfono IP para la configuración automática de los datos y firmware.
- SSH acceso al sistema

#### E. Trunking

- Requiere 12 troncales iniciales con capacidad de expansión ilimitada y sin necesidad de licenciamiento y bajo demanda
- Parámetros de calidad de servicio: marcación DSCP 46
- B2BUA (es una característica propia de FreeSwitch)
- Soporte Registro SIP y troncales como puerta de enlace
- Soportar enrutamiento DID
- Dial plans ilimitados

#### F. Protocolos

- SIP, SDP, RTP, SRTP
- TLS, STUN, TFTP, DNS
- SNMP, HTTP/HTTPS
- Soporte TFTP, Soporte NTP

#### G. Diagrama del sistema de telefonía IP

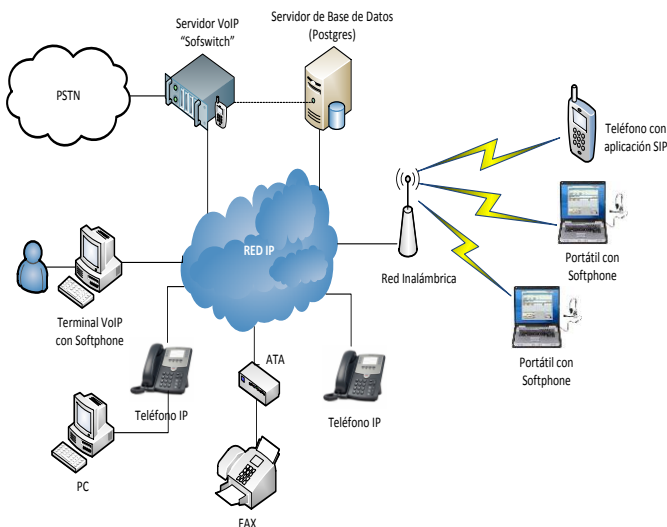


Figura 5. Diseño lógico del sistema de telefonía IP para el GAD-I  
Fuente: Elaborado por Nataly Culqui

#### H. Dimensionamiento de Hardware

A continuación se muestra el requerimiento de hardware para la implementación del sistema de telefonía IP:

Tabla 10. Componentes del sistema de telefonía IP propuesto para el GAD-I

Nro.	COMPONENTES	CANTIDAD	OBSERVACIONES
A	Servidor VoIP	1	Servidor de comunicación VoIP
B	Servidor de Base de Datos (Postgres)	1	Servidor existente en la unidad TIC
C	Adaptador telefónico (ATAS)	12	Se requiere 12 para la reutilización de 12 FAX analógicos
D	Switch 24 puertos Ethernet POE 10/100 Mbps	2	Para la conexión de los teléfonos IP
E	Switch 48 puertos Ethernet POE 10/100 Mbps	1	Para la conexión de los teléfonos IP
F	Teléfono operadora/recepción	1	Para operador de central telefónica
G	Consola de asistente	1	Para operador de central telefónica
H	Teléfono estándar básico	85	Teléfonos para usuario de varias unidades
I	Teléfono ejecutivo tipo I	2	Teléfono para autoridades
J	Teléfono ejecutivo tipo II	16	Teléfonos para directores y responsables
K	Headset para teléfono operadora	1	Para operador de la central telefónica
L	Cable adaptador de conexión directa al teléfono operadora	1	Para el teléfono operadora
M	Headset para PC	4	Para usuarios que soliciten telefonía IP por medio de softphones

#### I. Dimensionamiento de las aplicaciones de FreeSwitch

De acuerdo a los requerimientos de los usuarios y del equipo técnico del GAD-I, el nuevo sistema de telefonía IP debe agregar nuevos servicios y aplicaciones que se muestra a continuación:

##### Salas de conferencia

- Sala de Conferencia simple
- Manejo mínimo de 10 usuarios por sala de conferencia con capacidad de expansión a 25 bajo demanda de la institución

##### Correo de voz del sistema

- Todos los correos de voz de cada extensión son disecionados al correo de la empresa.
- Buzón de mensajería privada y compartida

### *Tratamiento y redirección de llamadas*

- Interceptar llamadas anónimas y desconocidas
- DID, Identificación de llamadas
- Redirección simple si la línea está ocupada
- Múltiples registros por extensión
- Parqueo de llamadas, recogida de llamadas
- Call back
- Bloqueo de llamada por Caller-ID
- Transferencia de llamadas automático, las llamadas se direcciona a una extensión sin necesidad de transferirla.
- Mientras se espera se puede escuchar música sea .WAV o .MP3
- Colas de Atención o ACDs
- Limitación de tiempo de llamadas y niveles de servicio
- Múltiples paging (salida de audio, multidifusión RTP),
- Intercom a través de código. Interceptar llamada (\*\* + Extensión)

### *Libreta de direcciones*

- Caller ID.- Identificador de llamadas.
- Persona /Dominio, Libreta de direcciones
- Soporta importación de libreta de direcciones
- Agente SNMP

### *Idiomas*

- Soporte mínimo 2 idiomas interfaz web de administración, con capacidad de crecimiento bajo demanda

### *Fax a e-mail*

- FAX T.38
- Los faxes que ingresan se direcciona al correo electrónico.

### *Video llamadas para autoridades*

FreeSWITCH soporta una serie de códecs de video de los cuales los más importantes son H.264 y H.263 que permiten una buena calidad de video llamadas.

### *Administración*

- Administración vía web por medio de la interfaz gráfica FusionPBX.
- Reportes e Indicadores de Uso

- Monitoreo de llamadas
- Reporte de llamadas
- Grabación de llamadas
- Mecanismo de control de llamada a través de etiquetas que permiten la conmutación por error (failover) a un conjunto alternativo de acciones en caso de una condición de falla.

### *Servicio SMS, Contact Center y Call Center*

Debe soportar servicio de SMS (mensajería celular), Contact Center y Call Center, con capacidad multiusuario, ya que la entidad tiene proyectos de mejora en el área de Alarmas comunitarias y servicios al ciudadano.

## VII. CONCLUSIONES

El GAD-I con el propósito de mejorar el desempeño institucional y los procesos internos de cada unidad; considera necesario utilizar nuevas tecnologías de comunicación; por lo cual el diseño del sistema de telefonía IP propuesto se adapta a las necesidades de la entidad, permitiéndole ampliar nuevos servicios, reducir los abonos telefónicos mensuales y sobre todo brindar mayor flexibilidad en el crecimiento de la red telefónica.

Para la implementación del nuevo sistema de telefonía IP se utilizará la actual infraestructura de red; lo que permite una gestión centralizada de los servicios de voz y datos de la entidad. Además facilitará el mantenimiento del sistema de voz y datos para el personal técnico de la unidad TIC.

De acuerdo al análisis realizado de la red telefónica; los equipos actuales de telefonía no permiten ampliar nuevos servicios además ya cumplió su tiempo de vida útil. Por lo tanto se requiere una total migración de la tecnología y equipamiento a VoIP.

Las redes VoIP permiten llamadas gratuitas entre unidades internas y externas que usan la misma red LAN y WLAN de la entidad, sin necesidad de usar la PSTN; reduciendo los gastos telefónicos mensuales.

La entidad requiere de nuevos servicios como FAX a email para evitar demasiado papeleo, de esta forma contribuir con el medio ambiente.

La implementación de un sistema de telefonía IP en la entidad permite tener mayor cantidad de

servicios entre los más importantes están: salas de conferencia, redirección de llamadas, intercom, bloqueo de llamadas, libreta de direcciones y monitoreo vía web de llamadas, que permitirán mejorar los procesos de cada unidad del GAD-I.

El códec seleccionado para el sistema de telefonía IP propuesto, es el códec G.711 A-law debido a su alta calidad de voz que este proporciona de acuerdo al valor MOS, y sobre todo porque no tiene costo de licencia.

Los equipos planteados para el diseño como son switches, teléfonos IP y ATA's cuentan con características de QoS lo que permite mejorar el servicio de voz sobre una red IP.

FreeSwitch es una plataforma totalmente flexible que permite implementar nuevos módulos de servicios de acuerdo a la necesidad de la entidad.

#### RECONOCIMIENTO

Se expresa un especial reconocimiento a la Unidad de Tecnologías de la Información y Comunicación del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Ibarra, en especial al Ing. Irving Reascos, ex director del mismo y al Lic. Miguel Tobar, por el apoyo y colaboración brindada para el desarrollo de este trabajo.

#### REFERENCIAS

- [1] Álvaro Jesam. (2009). Implementación de una plataforma sobre IP utilizando FreeSwitch como testbed para tecnología por voz. (Tesis de Ingeniería civil electricista). Universidad de Chile.
- [2] Anthony Minessale. (2008). Comparación entre FreeSWITCH y Asterisk. Recuperado de <http://www.freeswitch.org/node/117>
- [3] Anthony M, Michael S, Darren S. (2010). FreeSWITCH 1.0.6. Reino Unido: Editorial: PACKT publishing.
- [4] Augusto Reyes, Fernando C. (2010). Implementación de un prototipo para telefonía IP utilizando software libre, para el distrito Metropolitano de Quito. (Tesis de Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- [5] Oscar G. (2009). Método simplificado para el cálculo de ancho de banda para VoIP. Mis Libros de Networking. Recuperado de <http://librosnetworking.blogspot.com/2009/04/metodo-simplificado-para-el-calculo-de.html>
- [6] Rodolfo Castañeda. (2005). Protocolo SIP. Dirección de Telemática CICESE. Recuperado de [http://www.cudi.mx/primavera\\_2005/presentaciones/rodolfo\\_castaneda.pdf](http://www.cudi.mx/primavera_2005/presentaciones/rodolfo_castaneda.pdf)

#### Carlos A. Vásquez A.



Nació en Quito provincia de Pichincha el 19 de Septiembre de 1981. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones (CUM LAUDE), Escuela Politécnica Nacional (EPN) en Quito-Ecuador en 2008. Actualmente es Docente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, dictando las materias de Networking II y III, Proyectos de Redes, Administración de Redes. Cumple la función de vocal principal del Consejo Académico de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación. Aprobó los cursos CCNA 1, 2, 3, 4 de estudiante en el período junio 2006 – marzo 2007 en la Escuela Politécnica Nacional y el CCNA 1 de Instructor en la ESPOL, y cursa la Maestría en Redes de Comunicación (2do Semestre), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador.

#### Alexandra N. Culqui M.



Nació en Latacunga-Ecuador el 1 de Agosto de 1987. Hija de José Culqui y Nelly Medina. Realizó sus estudios primarios en la Escuela "Fiscal Ana Luisa Leoro". En el año 2005 obtuvo su título de Bachiller en Ciencias con especialización Informática en el "Colegio Nacional Ibarra". Actualmente, es egresada de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.