

Diseño E Implementación De Centralita Telefónica VoIP, Basada En El Software Libre Asterisk, Para Terminaciones Móviles (Celulares) Teniendo Conectividad A Internet (Diciembre 2010)

Rodrigo Niampira Romero – rodrigoniampira@hotmail.com

Resumen— Este artículo proporciona información sobre el desarrollo de la construcción de una centralita telefónica VoIP, basada en el software libre Asterisk y Trixbox para terminales móviles celulares con conectividad a internet. Donde cada abonado inscrito a la centralita tiene la capacidad de realizar y recibir llamadas VoIP. Para esto se establecieron los parámetros de configuración y diseño necesarios para el funcionamiento de la centralita, así como también se realizó la implementación de la centralita telefónica VoIP sobre las redes de internet móvil. Finalmente por medio de un conjunto de pruebas realizadas en diferentes escenarios, se logró determinar el grado de calidad de la tecnología VoIP, en dichas redes.

Palabras Clave— VoIP, Asterisk, Trixbox, SIP, Codec.

I. INTRODUCCIÓN

EL auge y aceptación que han tenido las redes IP en el mercado, el desarrollo de procesos de digitalización de voz, los protocolos de señalización, transporte y direccionamiento, y la evolución que ha tenido internet han permitido la conformación de la tecnología VoIP. Esta consiste en digitalizar la voz para poder ser introducida en paquetes que pueden ser transportados sobre redes IP mediante una serie de protocolos como los son: Protocolos de señalización, transporte y direccionamiento.

Otro avance tecnológico es la tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). El cual es un sistema universal de telecomunicaciones móvil, encargado de transportar la información sobre un canal de radio. UMTS se caracteriza por soportar la tecnología VoIP, en donde la voz y los datos viajan sobre la misma infraestructura de paquetes, reduciendo así los costos de implementación de estructuras separadas.

Debido a la evolución que han tenido las redes móviles y el crecimiento que ha adquirido la tecnología VoIP, se procede con la elaboración de un sistema de comunicación más aceptable para el usuario final, el cual hace integración de todas

estas tecnologías y necesidades. De esta manera es posible realizar y recibir llamadas VoIP por medio de terminales móviles celulares con conectividad a internet.

II. MARCO REFERENCIAL

A. Tecnología VoIP [1]

La función de la tecnología VoIP es encapsular la voz en paquetes para poder ser transportados sobre redes IP.

Las alternativas tecnológicas de VoIP se dividen en dos grandes grupos: tecnologías cerradas propietarias y sistemas abiertos. En el primer grupo se encuentran las plataformas comerciales VoIP como lo son Skype, Cisco Skinny y en el segundo grupo nos encontramos con los estándares abiertos en SIP, H323 o IAX

B. Software Asterisk [2], [3], [4].

La función de Asterisk en la central telefónica VoIP es realizar las funciones de una PBX convencional sobre una red IP para así crear una “IPBX”, basado en un software. Esta aplicación nos permite controlar y gestionar, comunicaciones de cualquier tipo, ya sean analógicas, digitales o VoIP por medio de los protocolos VoIP que implementa.

El software Asterisk se distribuye bajo licencia GNU (General Public License), todo software que opere bajo esta licencia se considera software libre y será protegido de intentos de apropiación. También está disponible bajo una licencia alternativa para negocios directamente con Digium. La licencia con la que opera Asterisk permite utilizar el código en otros programas GPL. Esto significa que está sujeta a cambios técnicos y es de valor gratuito.

Asterisk fue diseñado de manera modular. Para que los usuarios elijan la parte de Asterisk que requieran según sus necesidades. Esto hace que Asterisk sea una aplicación escalable y extensible. Para programar un nuevo código no es necesario saber todo el código fuente de Asterisk.

Asterisk divide su arquitectura en 7 módulos que son:

1) Core.

Es el núcleo de Asterisk, el cual está compuesto por las funciones básicas de Asterisk y permite cargar los módulos restantes.

2) Recursos.

Complementa a Core con funcionalidades adicionales como la posibilidad de leer ficheros de configuración, música en espera, etc.

3) Aplicaciones y Funciones.

Caja de herramientas Asterisk, donde cada módulo aporta un número de herramientas.

4) CDR.

Controlan la escritura del registro telefónico generado por Asterisk a diferentes formatos

5) Codecs.

Permite la codificación y decodificación de la información de audio y video que tiene que enviar y recibir Asterisk para su funcionamiento

6) Formatos.

Permite a Asterisk entender y manejar ficheros en distintos formatos, como mp3, alaw, etc

C. Software Trixbox [5], [6].

Trixbox fue creado por Andrew Gillis y se inició en 2004 como el proyecto de código abierto llamado IP-PBX Asterisk@Home. Pero tuvieron que cambiar el nombre del proyecto a (Trixbox). Por solicitud de Digium, el cual solicitaba que no usaran la palabra (Asterisk) Desde entonces, se ha convertido en la distribución más popular del mundo de Asterisk con más de 65.000 descargas al mes. Trixbox es conocido por su flexibilidad para satisfacer las necesidades de los usuarios (Trixbox, 2010).

TrixBox consiste en una imagen ISO para descargar desde su página oficial. Al arrancar un ordenador desde la imagen del CD.

Los componentes de Trixbox son:

1) Asterisk 1.2

Es el núcleo de todo el sistema.

2) FreePBX

Esta herramienta proporciona una interfaz basada en Web para administrar y mantener la instalación de Asterisk

3) Flash Operator Panel (FOP)

El panel de operador Flash es una aplicación de panel de control para ver el estado de todas las extensiones y circuitos telefónicos.

4) SugarCRM

Es un sistema de gestión de relaciones con los clientes para el seguimiento de oportunidades de ventas, contactos con los clientes

5) Festival de motor de voz

Muchas de las funciones dentro de Asterisk requieren de cierta capacidad de texto a voz. Festival proporciona esa funcionalidad

6) Digium Tarjeta de auto-config

Para los sistemas que va a utilizar hardware de Digium, un script de configuración automática se encarga de la configuración inicial de los archivos de configuración necesarios

D. Protocolos de audio [4].

Un protocolo de audio es el encargado de transportar la información entre un origen y su destino. Los protocolos más utilizados para esta finalidad de transporte de audio y video en tiempo real son: Real Time Protocol (RTP) y Real Time Control Protocol (RTCP).

1) Real Time Protocol (RTP).

Es el encargado de transportar audio y video en tiempo real; utilizando UDP como protocolo de transporte. El proceso de RTP se hace por medio de un numero de secuencia, marcas de tiempo, envío de paquetes sin retransmisión, identificación de origen y sincronización, lo que produce un retardo significativo a la hora de ser transportado, por tanto no se puede garantizar la entrega en tiempo real, pero si garantiza que lo hará de forma sincronizada.

2) Real Time Control Protocol (RTCP).

Este protocolo actúa de complemento ante el protocolo RTP, es el encargado de monitorizar el flujo de paquetes RTP. Obtiene estadísticas sobre jitter (variación del retardo), RTT, latencia, pérdida de paquetes. Por tanto está relacionado con la calidad del servicio.

E. Codificación de la voz [2], [4], [7].

Para poder transportar la voz sobre una red de datos primero hay que digitalizarla, comprimirla y codificarla, puesto que las señales de la voz son analógicas y no poseen el formato necesario para ser tratadas por equipos de datos. Por tanto es necesario implementar algoritmos matemáticos realizados por software, lo cual se les denomina Codec (codificador-decodificador),

Para poder transportar la información por un protocolo de audio antes es necesario tratarla por un códec para poder ser añadida en paquetes RTP. En la tecnología VoIP existen diferentes modelos de codecs de audio los cuales nos determinan la calidad de voz, ancho de banda necesario y la carga computacional necesaria para poder operar de forma satisfactoria

La función principal de un códec es traducir la señal analógica en una señal digital por medio de algoritmos matemáticos. La elección de un codec depende de la fidelidad del sonido

F. UMTS [4].

Es una tecnología de 3G (tercera generación), para telefonía móvil. UMTS, en el estándar original opera en el rango de frecuencias de 1885MHz a 2025MHz para la comunicación de móvil a estación base (uplink o enlace de subida), y el rango de frecuencias de 2110 MHz a 2200MHz para la comunicación de estación base a móvil (downlink o enlace de bajada), cabe destacar que esta frecuencias varían dependiendo el país.

UMTS alcanza hasta 14Mbps en la transferencia de datos, por tanto permite la ejecución de aplicaciones y la realización de acciones con las terminales móviles que antes no eran posibles.

LTE (Long Term Evolution) planea que UMTS pueda alcanzar velocidades de bajada de hasta 100Mbps y de subida de hasta 50Mbps en la tecnología para móviles de cuarta generación 4G. Las redes UMTS son utilizadas actualmente para acceder a internet.

III. DESARROLLO

A. Parámetros de configuración y diseño de la centralita

Dentro de los parámetros de configuración de la centralita telefónica VoIP, se encuentran: la capacidad soportada, servidor implementado, códec implementado y ancho de banda requerido.

1) Capacidad Soportada [8].

La capacidad de Asterisk no está en el número de abonados sino en el número de llamadas que pueda soportar simultáneamente. Por tanto, se necesita tener un número de canales adecuado para poder ofrecer un servicio satisfactorio. Se diseñó el prototipo de una centralita telefónica VoIP con una capacidad de 5 a 10 llamadas simultáneas, debido a la capacidad del servidor utilizado.

2) Servidor [8].

Para seleccionar el hardware del servidor requerido para la instalación de Asterisk se requiere tener en cuenta los siguientes factores:

- Número máximo de conexiones simultáneas, donde cada conexión incrementa la carga de trabajo del sistema.
- El procesamiento digital de las señales que realizará el software Asterisk, ya que tiene un impacto notorio en el número de llamadas simultáneas.
- Cancelación de eco, se requiere de una función matemática y el sistema estará en capacidad de realizarlo, aumentado así la carga de la CPU.
- Ejecución simultánea de procesos en el sistema

El servidor es el encargado de alojar el software Asterisk y administrar el enrutamiento de las llamadas realizadas por los usuarios, donde cada llamada obligatoriamente pasa primero por el servidor antes de llegar a su destino final. La capacidad del servidor permite establecer el número de llamadas simultáneas que puede soportar la centralita y no el número de abonados.

3) Codec [7].

Los parámetros utilizados para la selección del códec empleado, para codificar los paquetes de voz, son:

- Complejidad: es una medida de la cantidad de la CPU necesaria para procesar el algoritmo de codificación y el número de canales que puede soportar.
- Compresión: dentro de las funciones del códec está la compresión de la señal de voz para poder reducir la

cantidad de ancho de banda a la hora de transmitir por la red los paquetes.

- Calidad de la voz: cada Códec tiene un factor de calidad de voz característico a los demás, por tanto, a mayor tasa de compresión, menor calidad.
- Retardo: Es el tiempo que necesita el Códec para codificar y comprimir la señal.

Es de aclarar que los paquetes generados por el códec no son transmitidos directamente por la red, porque cada protocolo empleado añade información a la cabecera. Estos bits de control añadidos por los protocolos consumen ancho de banda, el cual también se debe tener en cuenta.

En la tabla 1, se establecen las características del Códec G729 implementado en la centralita telefónica VoIP. El cual cuenta con una velocidad de 8 Kbps y un tiempo entre paquetes o latencia de 20ms. Donde el tamaño de carga útil o Audio útil es de 20 bytes.

Tabla 1. Características del códec G.729

NOMBRE	Bit rate (Kbps)	Audio útil (Bytes)	Ancho estimado (Kbps)	Latencia (ms)	Observaciones	Calidad
G.729	8	20	24	20	Está compuesto por sub codecs: G.729A, G.729B, G.729AB	3.92

En la ecuación 1, se define el tamaño de la carga útil, por medio de los parámetros mencionados anteriormente.

$$\text{Carga Util (bytes)} = \frac{\text{Ecuación 1. Carga útil} \quad \text{velocidad del codec(bps)} * \text{Retardo del datagrama(ms)}}{8 \text{ bits/byte} * 1000 \text{ms/s}}$$

$$\text{Carga Util (bytes)} = 20 \text{ bytes}$$

La sobre carga queda definida por la pila de protocolos implementados, tal como se observa en la figura 1. Donde el flujo de bits generado por el Códec se encapsula en segmentos UDP, estos en paquetes IP, y por último en la trama PPP para su transmisión por el enlace punto a punto. En el peor caso, la sobre carga será de 46 bytes y la trama completa será de 66 bytes de longitud:

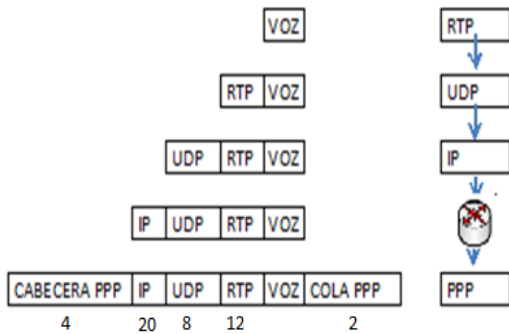


Figura 1. Sobre carga introducida por los protocolos [7]

En la ecuación 2, se establece el tamaño de sobre carga agregado al tamaño de carga útil de la comunicación. Por medio de la sumatoria del tamaño de cada protocolo implementado. Y en la ecuación 3, se establece el tamaño de la trama completa a enviar por la red.

Ecuación 2. Longitud de sobre carga.

$$\text{Sobre Carga} = 4\text{byte} + 20\text{byte} + 8\text{byte} + 12\text{byte} + 2\text{byte}$$

$$\text{sobre carga} = 46\text{bytes}$$

Ecuación 3. Longitud de trama completa.

$$\text{Trama Completa} = \text{Sobre Carga} + \text{Carga Util}$$

$$\text{Trama Completa} = 46\text{bytes} + 20\text{bytes}$$

$$\text{Trama Completa} = 66\text{bytes}$$

4) Ancho de banda [7].

El ancho de banda estimado por llamada se define mediante la ecuación 4. Donde el retardo del datagrama es el retardo del códec G729, ósea 20(ms), y el tamaño del marco es el tamaño de la sobre carga el cual es de 46 bytes más el tamaño de carga útil el cual es de 20 bytes para un total de 66 bytes de longitud de marco. El motivo por el cual se multiplica por dos, es porque cada llamada en la centralita requiere de dos flujos RTP, uno para cada sentido de la comunicación.

Ecuación 4. Ancho de banda para cada llamada.

$$BW(Kbps) = 2 * \frac{\text{tamaño del marco}(\text{bytes}) * 8 \text{ bits} / \text{byte}}{\text{Retardo del datagrama}(\text{ms})}$$

$$BW(Kbps) = 52.8Kbps$$

Por tanto el ancho de banda estimado para cada canal entre el terminal y la centralita es de **52.8Kbps**.

B. Protocolo SIP [4].

Para la señalización entre el terminal y la centralita se implementó el protocolo SIP (Protocolo de Inicialización de Sesión), es un protocolo de señalización a nivel de aplicación encargado de la inicialización, modificación y terminación de sesiones multimedia como lo son (mensajería, video, audio y conferencias), para este proyecto se implementa solo la sesión de audio. Se describen las características, las peticiones, las respuestas, la estructura y el direccionamiento SIP.

C. Construcción de la centralita

El servidor cuenta con una conexión a Internet banda ancha de 2.000Kbps, a través del proveedor de servicios de Internet ETB, el cual asignó una IP pública con motivo de investigación, la cual direcciona todas las peticiones concebidas por el abonado hacia el servidor. A continuación se observa en la figura 2, la topología de red del servidor

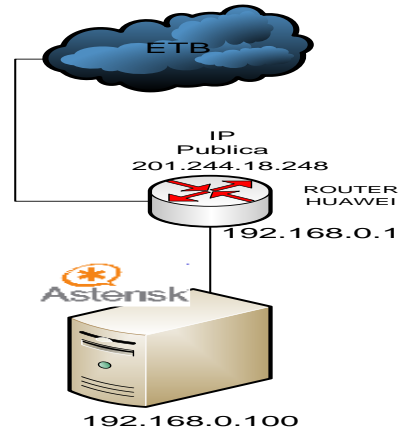


Figura 2. Topología de la red del servidor

En la construcción de la centralita se implementaron dos opciones diferentes las cuales son:

1) Sistema operativo Ubuntu y Software Asterisk 1.4.

El motivo por el cual se implementó el sistema operativo Ubuntu es por su simplicidad y su interfaz web la cual facilita el entendimiento y aprendizaje del software Asterisk, sistema base de la mayoría de PBX. En esta opción la instalación de Asterisk y librerías se realiza de forma manual, así como también su configuración.

2) Trixbox.

Esta distribución hace integración del sistema operativo CentOS, el software Asterisk, y otros. Los cuales sirven de complemento para una centralita telefónica VoIP. EL motivo por el cual se implementó esta distribución fue por su simplicidad y por su gran aceptación no solo a nivel académico si no también empresarial.

D. Terminales implementados.

En la figura 3 se observa la topología de la centralita y los terminales implementados:

- 1) Softphone X-Lite.
- 2) ATA, Adaptador Telefónico analógico (Linksys PAP2)
- 3) Celular Nokia E71
- 4) Celular Htc Google.

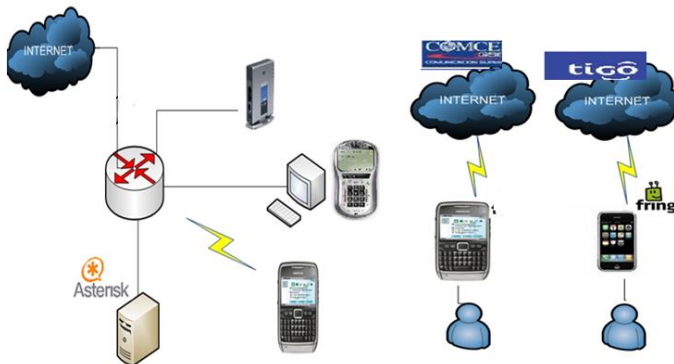


Figura 3. Topología de centralita VoIP, con los terminales implementados.

IV. RESULTADOS

Se realizaron 12 pruebas. En cada una se estableció un objetivo, se definieron los recursos implementados, se describió el escenario y se finalizó con un análisis de los resultados obtenidos. Para cada prueba se realizaron 10 llamadas, cada una de duración y horarios diferentes. Los parámetros que se tendrán en cuenta para la calificación son: Comunicación en los dos sentidos (el usuario origen escucha al usuario destino y viceversa), retardos y comunicación entre cortada. Los valores son:

- Comunicación mala (M): No hay comunicación en ningún sentido o en un solo sentido.
- Comunicación Aceptable (A): La comunicación tiene retardos o simplemente se escucha entre cortado.
- Comunicación excelente (E): No tiene ninguna de estas falencias.

Los horarios son: mañana (AM), tarde (T), noche (N).

A. Prueba 1: Conexión Móvil a Móvil (Movistar--Tigo)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal móvil con conexión a internet móvil (Movistar). A un terminal móvil con conexión a internet móvil (Tigo).

ORIGEN	DESTINO		2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
E71 Movistar	Google Tigo	AM	A	A	A	M	M
		T	A	M	M	M	M
		N	A	M	M	M	M
Google Tigo	E71 Movistar	AM	A	M	M	M	M
		T	A	A	M	M	M
		N	M	M	M	M	M

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos celulares, cada uno con un plan de datos a internet. Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación, como se observa en la

tabla 3. Donde cada celular podía realizar y recibir llamadas VoIP

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz no es aceptable. Por qué se escuchó entre cortado por intervalos de tiempo, en momentos la comunicación solo es un solo sentido, o simplemente se conecta pero no hay comunicación. El motivo por el cual surgen este problema es: porque la velocidad en estas conexiones móviles es muy baja y no es constante.

Tabla 1. Resultados de prueba 1.

B. Prueba 2: Conexión Softphone a Softphone (ETB-ETB)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal Softphone con conexión a internet banda ancha (ETB) a un Softphone con conexión a internet banda ancha de la misma red.

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales Softphone, los dos conectados a la misma red de banda ancha del servidor Asterisk. Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación, como se observa en la tabla 4. Donde cada Softphone podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es excelente. No agrega interferencia ni retardos. Y el horario en que se realizaron las llamadas y el sentido de marcación no afecta en nada la calidad de la voz. Aunque la conexión a internet de estos dos terminales fue la misma conexión a internet del servidor Asterisk. No se ve afectada la calidad de la voz. El motivo por el cual se obtiene este grado de calidad, es por el ancho de banda con el cual cuenta la red.

Tabla 2. Resultados de prueba 2.

ORIGEN	DESTINO		2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite ETB	X-Lite ETB	AM	E	E	E	E	E
		T	E	E	E	E	E
		N	E	E	E	E	E
X-Lite ETB	X-Lite ETB	AM	E	E	E	E	E
		T	E	E	E	E	E
		N	E	E	E	E	E

C. Prueba 3: Conexión Softphone a Softphone (Une-ETB)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal Softphone con conexión a internet móvil (Une). A un Softphone con conexión a internet banda ancha (ETB).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Une y Internet banda ancha ETB). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada Softphone podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es aceptable. Se considera aceptable, debido a las 10 pruebas realizadas, como se observa en la tabla 5. Donde se observó que el horario en el cual se utilice el servicio no afecta la calidad de la conversación. El motivo por el cual se obtiene este grado de calidad, es por la conexión a internet móvil la cual no cuenta con una velocidad constante. También se observó que el sentido de la comunicación no afecta la calidad de la conversación.

Tabla 3. Resultados de prueba 3.

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite Une	X-Lite ETB	AM	E	E	A	A
		T	E	E	E	A
		N	E	A	A	A
X-Lite ETB	X-Lite Une	AM	E	A	A	A
		T	A	A	A	A
		N	A	A	A	M

D. Prueba 4: Conexión Móvil a Softphone (Movistar- ETB)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal móvil con conexión a internet móvil (Movistar). A un Softphone con conexión a internet banda ancha (ETB).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales, un celular y un Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Movistar y Internet banda ancha ETB). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada terminal podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es aceptable. El horario en el cual se utilice el servicio afecta la calidad de la conversación. Debido a la conexión a internet móvil implementado. En la conexión móvil, en horas pico la llamada se escucha entre contado y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación es más aceptable. También se observó que el sentido de la comunicación afecta para el grado de calidad. Según los resultados obtenidos en la tabla 6, se observa que, en el sentido (Movistar- ETB), la calidad es aceptable. Mientras que, en el sentido (ETB-Movistar), la calidad se reduce un poco

Tabla 4. Resultados de prueba 4

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
E71 Movistar	X-Lite ETB	AM	A	A	M	M
		T	A	M	M	M
		N	M	A	M	M
X-Lite ETB	E71 Movistar	AM	A	A	M	M
		T	M	A	A	M
		N	M	M	M	M

E. Prueba 5: Conexión Móvil a Softphone (Movistar-ETB)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal móvil con conexión a internet móvil (Tigo). A un Softphone con conexión a internet banda ancha (ETB).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales, un celular y un Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Tigo y Internet banda ancha ETB). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada terminal podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es aceptable. El horario en el cual se utilice el servicio afecta en la calidad de la conversación. Debido a la conexión a internet móvil implementado. En la conexión móvil, en horas pico la llamada se escucha entre contado y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación más aceptable. Para esta prueba se observa que el sentido de la comunicación no afecta en nada. Según los resultados obtenidos en la tabla 7

Tabla 5. Resultados de prueba 5.

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
Google Tigo	X-Lite ETB	AM	M	A	M	M
		T	A	A	M	M
		N	A	M	M	M
X-Lite ETB	Google Tigo	AM	A	A	M	M
		T	A	A	M	M
		N	A	M	M	M

F. Prueba 6: Conexión Móvil a Softphone (Movistar-Une)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal móvil con conexión a internet móvil (Movistar). A un Softphone con conexión a internet móvil (Une).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales, un celular y un Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Movistar y Internet móvil Une). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada terminal podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es aceptable. El horario en el cual se utilice el servicio afecta en la calidad de la conversación. Debido a la conexión a internet móvil implementado. En la conexión móvil en horas pico la llamada se escucha entre cortado y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación es más aceptable. Para esta prueba se observa que el sentido de la comunicación no afecta en nada. Según los resultados obtenidos en la tabla 8

Tabla 6. Resultados de prueba 6.

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
E71 Movistar	X-Lite Une	AM	A	M	M	M
		T	A	A	M	M
		N	M	M	M	M
X-Lite Une	E71 Movistar	AM	A	M	A	M
		T	A	M	M	M
		N	M	M	M	M

G. Prueba 7: Conexión Móvil a Softphone (Tigo-Une)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal móvil con conexión a internet móvil (Tigo). A un Softphone con conexión a internet móvil (Une).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales, un celular y un Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Tigo y Internet móvil Une). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada terminal podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es aceptable. El horario en el cual se utilice el servicio afecta en la calidad de la conversación. Debido a la conexión a internet móvil implementado. En la conexión móvil en horas pico la llamada se escucha entrecortada y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación es más aceptable. Para esta prueba se observa que el sentido de la comunicación no afecta en nada. Según los resultados obtenidos en el tabla 9.

Tabla 7. Resultados de prueba 7.

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite Comcel	X-Lite Une	AM	A	E	A	M
		T	A	A	M	M
		N	M	A	A	M
X-Lite Une	X-Lite Comcel	AM	A	A	M	M
		T	A	A	A	M
		N	M	M	M	M

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
Google Tigo	X-Lite Une	AM	A	A	M	M
		T	M	A	M	M
		N	M	M	M	M
X-Lite Une	Googletigo	AM	A	M	M	M
		T	A	M	M	M
		N	M	A	M	M

H. Prueba 8: Conexión Softphone a Softphone (Comcel-Une)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal Softphone con conexión a internet móvil (Comcel). A un Softphone con conexión a internet móvil (Une).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Comcel y Internet móvil Une). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada Softphone podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es aceptable. Se considera aceptable, debido a las 10 pruebas realizadas, como se observa en la tabla 10. El horario en el cual se utilice el servicio afecta en la calidad de la conversación. Debido a la conexión a internet móvil implementado. En la conexión móvil en horas pico la llamada se escucha entre cortado y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación es más aceptable. El motivo por el cual se obtiene este grado de calidad, es por la conexión a internet móvil la cual no cuenta con una velocidad constante.

Tabla 8. Resultados de prueba 8

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite Comcel	X-Lite Une	AM	A	E	A	M
		T	A	A	M	M
		N	M	A	A	M
X-Lite Une	X-Lite Comcel	AM	A	A	M	M
		T	A	A	A	M
		N	M	M	M	M

I. Prueba 9: Conexión Móvil a Softphone (Movistar-Comcel)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal móvil con conexión a internet móvil (Movistar). A un softphone con conexión a internet móvil (Comcel).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales, un celular y un Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Comcel y Internet móvil Movistar). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada Softphone podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz no es aceptable. Debido a las 10 pruebas realizadas, como se observa en la tabla 11. Donde se observó que el horario en el cual se utilice el servicio afecta en la calidad de la conversación. Se observó que en horas pico la llamada se escucha entre cortado y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación es aceptable. El motivo por el cual se obtiene este grado de calidad, es por la conexión a internet móvil la cual no cuenta con una velocidad constante. También se observó que para esta prueba el sentido de la comunicación afecta la calidad de la conversación.

Tabla 9. Resultados de prueba 9.

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite Comcel	E71 Movistar	AM	A	A	M	M
		T	A	M	M	M
		N	M	M	M	M
E71 Movistar	X-Lite Comcel	AM	A	M	M	M
		T	A	A	M	M
		N	M	M	M	M

J. Prueba 10: Conexión Móvil a Softphone (Tigo--Comcel)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal móvil con conexión a internet móvil (tigo). A un Softphone con conexión a internet móvil (Comcel).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales, un celular y un Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Comcel y Internet móvil Tigo). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada Softphone podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz no es aceptable. Debido a las 10 pruebas realizadas, como se observa en la tabla 12. Donde se observó que el horario en el cual se utilice el servicio afecta en la calidad de la conversación. Se observó que en horas pico la llamada se escucha entre cortado y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación es aceptable. El motivo por el cual se obtiene este grado de calidad, es por la conexión a internet móvil la cual no cuenta con una velocidad constante. También se observó que para esta prueba el sentido de la comunicación afecta la calidad de la conversación.

Tabla 10. Resultados de prueba 10

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite Comcel	Google Tigo	AM	A	A	M	M
		T	A	M	M	M
		N	M	M	M	M
Google Tigo	X-Lite Comcel	AM	A	M	M	M
		T	M	M	M	M
		N	A	M	M	M

K. Prueba 11: Conexión Softphone a Softphone (ETB--Comcel)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal Softphone con conexión a internet banda ancha (ETB). A un Softphone con conexión a internet móvil (Comcel).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet móvil Comcel y Internet banda ancha ETB). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada Softphone podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es aceptable. Se considera aceptable, debido a las 10 pruebas realizadas, como se observa en la tabla 13. Donde se observó que el horario en el cual se utilice el servicio afecta en la calidad de la conversación. Se observó que en horas pico la llamada se escucha entre cortado y con retardo, mientras que en horarios pasivos la calidad de la conversación es muy buena. El motivo por el cual se obtiene este grado de calidad, es por la conexión a internet móvil la cual no cuenta con una velocidad constante.

Tabla 11. Resultados de prueba 11.

ORIGEN	DESTINO	2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite Comcel	X-Lite ETB	AM	A	A	A	A
		T	A	A	M	M
		N	A	M	M	M
X-Lite ETB	X-Lite Comcel	AM	A	A	A	M
		T	A	A	A	M
		N	M	M	M	M

L. Prueba 12: Conexión Softphone a Softphone (Telefonica--ETB)

1) Objetivo

Permitir al abonado realizar y recibir llamadas VoIP. Desde un terminal Softphone con conexión a internet banda ancha

(Telefónica). A un Softphone con conexión a internet banda ancha (ETB).

2) Descripción del escenario

En esta prueba se implementaron dos terminales Softphone, cada uno con conexión a internet diferente (Internet banda ancha Telefónica y Internet banda ancha ETB). Se realizaron 10 llamadas entre estos dos terminales, en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) y diferente sentido de marcación. Donde cada Softphone podía realizar y recibir llamadas VoIP.

3) Análisis de resultados Obtenidos

La calidad de la voz es excelente. Se considera excelente, debido a las 10 pruebas realizadas, como se observa en la tabla 14. Donde se observó que el horario en el cual se utilice el servicio no afecta la calidad de la conversación. No agrega interferencia ni retardos. El motivo por el cual se obtiene este grado de calidad, es por el ancho de banda con el cual cuenta la red.

Tabla 12. Resultados de prueba 12.

ORIGEN	DESTINO		2 MIN	3 MIN	4 MIN	5 MIN	6 MIN
X-Lite Comcel	X-Lite ETB	AM	E	E	E	E	E
		T	E	E	E	E	E
		N	A	E	E	E	E
X-Lite ETB	X-Lite Comcel	AM	E	E	E	E	E
		T	E	A	E	E	E
		N	E	E	E	E	E

V. CONCLUSIONES

En el presente artículo, se diseñó un prototipo de central telefónica VoIP, basada en el software Asterisk y Trixbox, para terminales móviles celulares¹ con conectividad a internet. Se integraron terminales fijos como: ATA y Softphone, permitiéndole a cada abonado poder recibir y realizar llamadas VoIP desde cualquier conexión a internet. Se implementaron conexiones móviles a internet de diversos operadores como: Comcel, Tigo, Movistar y Une. También se implementaron conexiones de banda ancha con dos proveedores distintos (ETB y Telefónica). Por último se implementó un valor agregado para la centralita telefónica VoIP como lo es un CDR (reporte de duración de llamada). El cual se implementó por medio del software Trixbox, compuesto por diferentes distribuciones que facilitaron el manejo de la centralita telefónica VoIP. En este documento se especifican los parámetros necesarios para la construcción de la centralita telefónica VoIP, desde la instalación hasta la configuración.

De las pruebas realizadas se observa que para una comunicación VoIP establecida mediante una conexión a internet móvil, el horario en el cual se realice esta comunicación afecta de manera significativa el grado de calidad. Se establece que en horarios pico, donde la demanda del

sistema es elevada, el grado de calidad es menor respecto al grado de calidad en horarios pasivos, donde la demanda del sistema es baja. Esto pasa debido al nivel de ocupación del sistema de conexión móvil el cual no tienen la capacidad suficiente para el número de usuarios integrados.

La conexión a internet móvil, por el momento, no cuenta con los requisitos y características necesarias para integrar la tecnología VoIP con un grado de calidad excelente. Se espera que en su evolución a 4G y a LTE, se pueda llegar a obtener un grado de calidad excelente al momento de implementar esta tecnología en redes móviles.

En el desarrollo se calculó teóricamente el tamaño de carga real, el cual está compuesto del tamaño de carga útil más el tamaño de sobre carga generado por los protocolos implementados. Debido a esto, el ancho de banda requerido para este códec aumenta a **52.8 Kbps**. Con un retardo teórico de 61.5ms, debido al códec implementado. Según las pruebas realizadas se observó que el valor del retardo real es mayor respecto al valor teórico debido a la sumatoria de retardos de la red de conexión a internet

El software Asterisk permite tener un control específico del estado de cada una de las llamadas. También verifica el estado de conexión de cada uno de los terminales por medio de los mensajes, peticiones y respuestas establecidas por el protocolo SIP. Se observa que este protocolo es compatible y soportado por la mayoría de los terminales para la tecnología VoIP.

En una comunicación VoIP, se utilizan las redes IP para transportar la voz en paquetes por medio de un conjunto de protocolos encargados de colaborar en el proceso. Donde cada protocolo tiene asignado un rango de puertos específicos para su funcionamiento. Según las pruebas efectuadas, se observó que uno de los factores que impide implementar esta tecnología, es el firewall utilizado en la red, debido a que este bloquea algunos de los puertos asignados por los protocolos e impidiendo así su funcionamiento. Para el caso de los terminales Softphone, hay que verificar que el firewall instalado en el pc no tenga bloqueado ninguno de los puertos solicitados. Para redes LAN, hay que verificar que el Router no tenga bloqueado estos puertos.

REFERENCIAS

- [1] A.Escudero, *VoIP para el Desarrollo*, Tanzania: Centro Internacional de Investigación para el desarrollo,2004.
- [2] J.Molina, *Implementacion de servicios VoIP sobre Asterisk*, Barcelona, Universidad Politecnica de Catalunya, 2006.
- [3] Digium, *Asterisk*, ,2010. En línea disponible en: <http://www.asterisk.org/>
- [4] J. Gomez, J. Gil, *VOIP Y ASTERISK*, Madrid, Ra-Ma, 2008.
- [5] Trixbox, *trixbox.*, ,2010. En línea disponible en: <http://fonality.com/trixbox/trixbox-line-asterisk-based-ip-pbx-products>
- [6] K.Garrison, B.Dempster, *TrixBox Made Easy*, PACKT,2006.
- [7] J.Huidoro, D. Roldan, *Tecnologia VoIP y Telfonia IP.*,Mexico, ALFAOMEGA,2006.
- [8] J.Meggelen, L.Madsen, J. Smith, *Asterisk: el futuro de la telefonia*, Estados Unidos, O'REILLY,2007.

¹ Los celulares implementados son: Nokia E71 y HTC Google