

# Diseño de una Red de Telefonía IP Económica para El Hogar

Javier De la Torre

Facultad de Ingeniería, Pontificie Universidad Catolica del Ecuador, 12 de Octubre y  
Ventimilla, Quito, Ecuador  
tabero86@hotmail.com

**Resumen.** En el presente proyecto se describe el diseño de una red económica de telefonía IP para el hogar, donde se utiliza una central telefónica IP que servirá de gestión y administración de las comunicaciones no solo de los miembros del hogar sino de cualquier persona que quiera comunicarse dentro de nuestra comunidad; esto va a permitir que las llamadas telefónicas no tengan costo por minutos de voz ya que el único costo sería el plan de internet y la inversión inicial, la cual se busca que sea la más económica. Con este proyecto se ofrece una nueva alternativa en la comunicación de voz residencia que a futuro desplazaría la telefonía convencional.

**Palabras Clave:** Asterisk, FreePBX, DDNS, señalización SIP

## 1 Introducción

La comunicación digital ha evolucionado en las últimas décadas, donde actualmente la telefónica IP se encuentra funcionando y operando en la mayoría de empresas y proveedores de servicios de voz del mundo.

En Ecuador la telefonía que prevalece es la convencional o fija, mediante conmutación de circuitos, donde existe una línea dedicada para el abonado y cuando no se utiliza el enlace se tiene un desperdicio del ancho de banda.

La telefonía convencional ha venido funcionando por casi un siglo en el mundo, solventando las comunicaciones de muchos hogares y empresas, pero hay que tener en cuenta que las llamadas internacionales o de interconexión entre operadoras fijas y móviles tienen un costo elevado que debe pagar el usuario final.

Actualmente existen tecnologías necesarias para que hagan frente a la telefonía convencional y pueda expandirse a nivel empresarial y poco a poco ir incursionando en la telefonía fija en los hogares.

En la mayoría de las medianas y grandes empresas las comunicaciones son basadas en protocolos de comunicación TCP/IP, es ahí donde la telefonía IP ha

encontrado un lugar donde desarrollarse mediante centrales telefónicas IP con características de hardware y software, que soportan cantidades grandes de llamadas concurrentes.

La telefonía IP para el hogar tiene un medio de comunicación basado en TCP/IP y que está difundido masivamente en el mundo el cual es el internet.

Con la utilización del internet como medio de transporte y protocolos de señalización SIP o IAX, las centrales telefónicas IP pequeñas pueden realizar comunicaciones de VoIP entre usuarios del hogar con las mismas funciones que una central IP empresarial pero para soportar menor cantidad de llamadas concurrentes.

## 2 Diseño de la central telefónica para el Hogar

En la figura 2.1 se puede observar el diseño de la central telefónica con sus diferentes componentes de red utilizados para la comunicación de VoIP entre los miembros del hogar.

A continuación se detalla los componentes que conforman el diseño:

- Raspberry Pi 2 modelo B (Central telefónica)
- Modem Motorola SVG1202 (Propiedad del proveedor de servicio de internet)
- ATA Grandstream HT702
- Teléfonos móviles
- Laptop y ordenadores

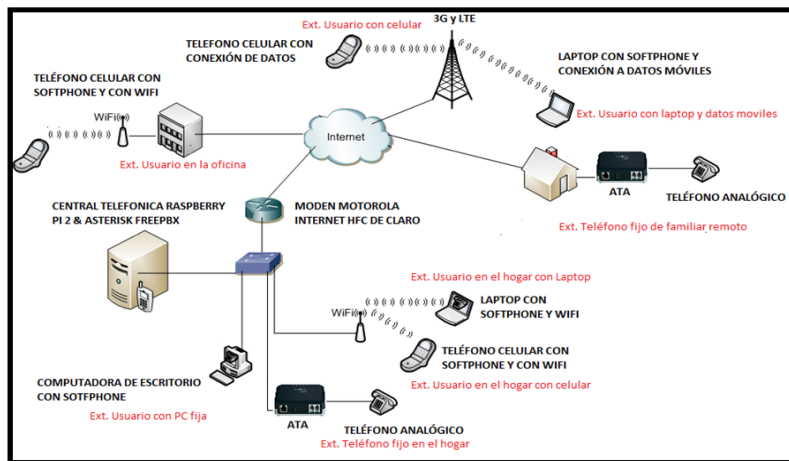


Fig. 2.1. Diagrama de red donde consta la central telefónica para el hogar.

La central telefónica constituye uno de los parámetros principales del diseño de este proyecto, ya que aparte de manejar las comunicaciones entre usuarios, determina la capacidad de llamadas simultáneas o concurrentes que pueden realizar, este parámetro de llamadas concurrente depende de las características del equipo (hardware) a utilizar.

También un parámetro importante a considerar para el diseño es el tráfico generado por las llamadas telefónicas las cuales son representadas por el ancho de banda, el mismo que tiene que ser suficiente para transportar los paquetes VoIP por el internet, lo cual implica que hay que asegurar este recurso en el peor escenario, que es cuando todos los usuarios estén llamando al mismo tiempo.

Para el diseño de la central telefónica se ha considerado utilizar como hardware al equipo Raspberry Pi 2 por sus características y beneficios que nos brinda los cuales se explica en el siguientes sub capitulo.

## 2.1 Llamadas simultáneas con Raspberry Pi 2 modelo B y Asterisk

Para el diseño se tomó las recomendaciones de Digum [1], empresa desarrolladora, quien indica los requerimientos mínimos de hardware que debe tener la central telefónica, que operara con Asterisk, entre sus recomendaciones da a conocer la capacidad de llamadas simultáneas soportadas, en la tabla 2.1 se puede observar los requerimientos mínimos de hardware.

**Tabla 2.1.** Requerimiento mínimos de hardware recomendados por Asterisk

Propósito	Número de canales	Mínimo recomendado
Sistema como hobby	No más de 5	400MHz x86, 256 MB RAM
SOHO (pequeña oficina/oficina en casa)	5 a 10	1 GHz x86, 512 MB RAM
Sistema para una pequeña empresa	hasta 25	3GHz x86, 1GB RAM
Sistema mediano/grande	más de 25	Dual CPUs o múltiples servidores

Raspberry Pi 2 modelo B, tiene una memoria RAM de 1GB y velocidad de procesamiento de 900 MHz quad-core ARM, es recomendada como central telefónica para propósito SOHO (10 llamadas simultaneas) o pequeña empresa de no muchos usuarios ya que cumple con los requerimientos de hardware necesarios para que trabaje con Asterisk, considerando que el número de usuarios no supera el máximo antes indicado de 10 llamadas simultáneas o 20 usuarios.

En la figura 2.2 se puede observar la placa base de Raspberry Pi 2 modelo B.



**Fig. 2.2.** Placa Base del Raspberry Pi 2 modelo B

## **2.2 Instalación de RasPBX**

Debido que Raspberry Pi 2 modelo B no cuenta con una memoria de almacenamiento interno, es necesario de una memoria micro SD para que funcione como disco duro, para lo cual se ha utilizado una memoria Kingston de 32 GB donde se va instalar RasPBX.

El paquete de Asterisk disponible para Raspberry Pi 2 es conocida como RasPBX el cual se instala sobre la distribución Raspbian (Debian 7 / Wheezy) e incluye:

- Asterisk 11.5.0
- FreePBX 2.11.0.10

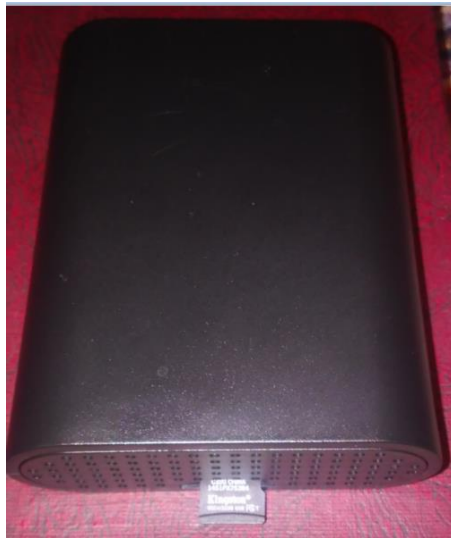
Asterisk es una aplicación multiplataforma, lo que significa que puede ser ejecutada sobre cualquier sistema operativo [1], sin embargo para la implementación se utilizó Linux que es el sistema operativo nativo, en particular el sistema operativo recomendado para Raspberry Pi, la distribución Raspbian.

Para la instalación del RasPBX lo primero hay que descargar la imagen de Raspbian que ya viene con el paquete RasPBX, lo podemos hacer desde la página oficial de Raspberry.

Con ayuda del programa Win32DiskImager, se pasa la imagen del RasPBX hacia la tarjeta micro SD.

Una vez cargada RasPBX en la tarjeta micro SD se introduce esta en la ranura micro SD de Raspberry Pi 2 y se energiza la placa para que arranque el sistema operativo Raspbian.

En la figura 2.3 se puede observar la memoria Kingston de 32 GB en el Raspberry Pi 2 la cual se introduce en la parte posterior del equipo en la ranura para el micro SD.



**Fig. 2.3.** Memoria micro SD en la ranura de Raspberry Pi 2

### **2.3 Configuración de red del cable modem Motorola SVG1202**

El cable modem Motorola SCG1202 ya tiene preestablecido una configuración definida por el proveedor de servicio de internet, en nuestro caso el equipo entrega dinámicamente (DHCP) las IP's a todos los dispositivos de la red interna del hogar (laptop, PC, celulares, etc.) dentro del segmento de red 192.168.0.0/24.

Adicionalmente el equipo Motorola SVG1202 tiene configurado en el puerto LAN la IP 192.168.0.1/24 la misma que es la puerta de enlace para todos los dispositivos de la red interna de la casa.

A nivel WAN el equipo Motorola SVG1202 tiene configurado una IP pública que recibe dinámicamente el equipo desde el proveedor de servicio de internet, esta IP no es fija y cambia cada cierto periodo de tiempo.

## 2.4 Configuración de red del Raspberry Pi 2 modelo B

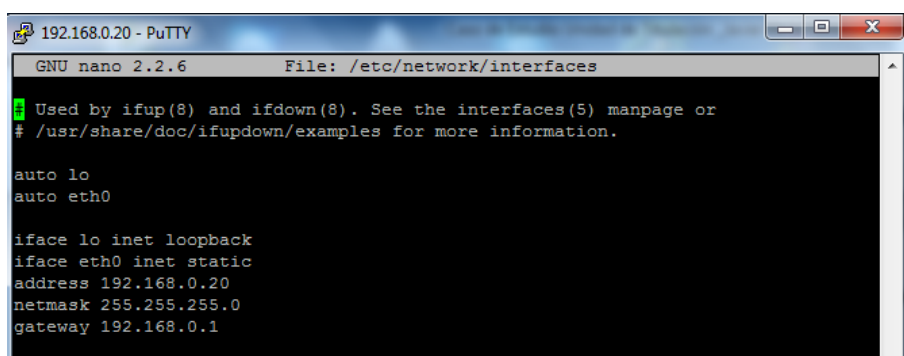
Para configurar por primera vez el equipo Raspberry Pi 2 se debe conectar un teclado USB y un monitor con cable HDMI.

Para ingresar al equipo se utiliza la clave y usuario que tiene por defecto, las cuales son:

- Usuario: root
- Contraseña: Raspberry

Una vez conectado el Raspberry Pi 2 se configura la tarjeta de red con la IP estática 192.168.0.20 /24 que está dentro del rango de red que entrega el modem Motorola SVG1202, conectados al Raspbian se modifica el archivo */etc/network/interfaces* el cual contiene la configuración de red de la tarjeta del equipo.

Mediante el comando `#nano /etc/network/interfaces` se ingresa al archivo de configuración de la tarjeta de red, en la figura 2.4 se puede observar la configuración realizada.



```
192.168.0.20 - PuTTY
GNU nano 2.2.6 File: /etc/network/interfaces
Used by ifup(8) and ifdown(8). See the interfaces(5) manpage or
# /usr/share/doc/ifupdown/examples for more information.

auto lo
auto eth0

iface lo inet loopback
iface eth0 inet static
address 192.168.0.20
netmask 255.255.255.0
gateway 192.168.0.1
```

**Fig. 2.4.** Configuración de la tarjeta de red del Raspberry Pi 2

Con la tarjeta de red del Raspberry Pi 2 configurada, se conecta el equipo a la red LAN de la casa, con esto se tiene conectividad y gestión remota de nuestra central telefónica.

## 2.5 Configuración del DNS Dinámico

Los proveedores o ISP en la mayoría de los enlaces de internet de tipo residenciales configuran para que el router o CPE tome una IP pública dinámicamente, con lo cual no se garantiza que la IP que se tomará sea la misma siempre, lo que complica la configuración de los accesos remotos hacia la central telefónica desde internet.

Para nuestro caso de estudio el proveedor de internet entrega a nuestro equipo Motorola el direccionamiento público dinámicamente el cual va cambiando cada cierto tiempo. Adicionalmente se tiene la complicación que la central telefónica se encuentra dentro de la red LAN de la casa y tiene una IP privada y no es accesible desde el internet. Debido a lo mencionado se ve la necesidad de buscar un método que permita a nuestra central telefónica sea alcanzada desde el internet para que los usuarios SIP puedan registrarse y realizar llamadas telefónicas.

Para resolver este problema el método utilizado en este caso de estudio es el servicio de DNS dinámico (DDNS), el cual es gratis y permite asignar un nombre de dominio al enlace, este se mantiene constante aunque cambie la IP del CPE.

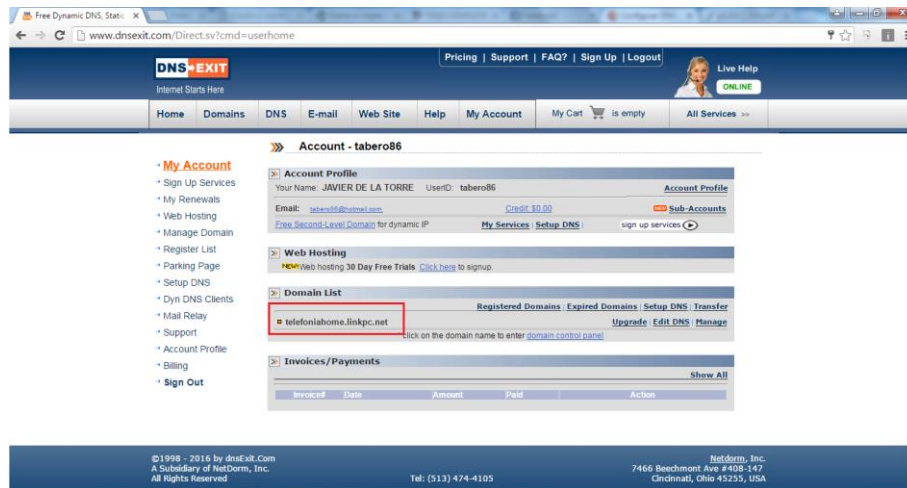
La función DDNS es la de permitir asignar un nombre de dominio fijo a una dirección IP pública dinámica [2], con este servicio se puede alojar un sitio web, servidor FTP u otros servidores, para nuestro caso va a permitir que nuestra central telefónica sea alcanzable por los usuarios SIP desde el internet.

Para utilizar este servicio el primer paso es crear una cuenta con algún proveedor de DDNS, muchos de los cuales son pagados pero también existen algunos gratuitos.

El proveedor del servicio DDNS que se utilizó es el que ofrece la página web *www.dnsexit.com*, donde se puede crear múltiples sub dominios de manera gratuita, además de permitir descargar el software cliente que se va a instalar en la central telefónica FreePBX (RasPBX).

El primer paso es llenar los campos que se solicitan en la página, incluyendo el usuario y la clave de acceso, el cual vamos a utilizar al momento de configurar el programa que contiene el cliente en la central telefónica FreePBX.

Como se puede observar en la figura 2.5 se creó el sub dominio *telefoniahome.linkpc.net* el cual está apuntando a la IP pública del servicio de internet residencial, con esto no importa que el proveedor de servicio cambie la IP, ya que el servicio DDNS va ir actualizando el sub dominio según vaya cambiando la IP y va a permitir que la central telefónica siempre sea alcanzable por los usuarios SIP.



**Fig. 2.5.** Creación del dominio telefoniahome.linkpc.net el cual va ser el SIP server

Ya creado nuestro sub dominio se procede a instalar y configurar el programa cliente del servicio de DDNS en la central telefónica.

En la misma página antes menciona se puede descargar el programa cliente; como nuestro sistema operativo de la central telefónica es Raspbian el cual es basado en Linux, se procede a descargar el programa para sistemas operativos basados en Linux.

Para la instalación del servicio DDNS cliente, primero se debe descomprimir el archivo que se tiene descargado, se ejecuta los siguientes pasos en la terminal de la central telefónica:

- **cd /root.** Se accede al directorio /root
- **ls -l.** Listan los archivos, confirman que el archivo fue copiado
- **tar xzvf ipUpdate-1.70.tar.gz.** Descomprimen el archivo
- **ls -l.** Listan los archivos y confirman la creación del directorio dnsexit
- **cd dnsexit.** Se acceden al directorio de instalación.

En la figura 2.6 se presenta la ejecución de los pasos anteriormente mencionados en la central telefónica.

```
telefoniahome.linkpc.net - PuTTY
RasPBX comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent permitted by
applicable law.

List of RasPBX specific commands:
-----
raspbx-upgrade      Keep your system up to date with the latest add-ons and
                    security fixes
configure-timezone  Set timezone for both system and PHP
install-fax         Install HylaFAX
add-fax-extension   Add additional fax extension for use with HylaFAX
install-fail2ban    Install Fail2Ban for additional security
install-dongle      Install GSM/3G calling capability with chan_dongle
raspbx-backup       Backup your complete system to an image file

Last login: Thu Mar 31 21:28:00 2016 from 200.124.231.194
root@raspbx:~# cd /root
root@raspbx:~# ls -l
total 1236
drwxr-xr-x 4 root root 4096 Jul 4 2013 dnsexit
-rwxr-xr-x 1 root root 625707 Jul 25 2015 f13
-rwxr-xr-x 1 root root 625707 Jul 25 2015 h123
-rw-r--r-- 1 root root 7604 Jul 4 2013 ipUpdate-1.70.tar.gz
root@raspbx:~# tar xzvf ipUpdate-1.70.tar.gz
```

Fig. 2.6. Descomprimir el archivo que contiene el cliente DDNS

Dentro del directorio dnsexit, listamos los archivos y buscamos el archivo `setup.pl` el cual se ejecuta para la instalación del programa cliente. (Ver figura 2.7)

```
telefoniahome.linkpc.net - PuTTY
-rw-r--r-- 1 root root 7604 Jul 4 2013 ipUpdate-1.70.tar.gz
root@raspbx:~# cd dnsexit/
root@raspbx:~/dnsexit# ls -l
total 32
drwxr-xr-x 2 root root 4096 Jul 4 2013 doc
-rw-r--r-- 1 root root 1408 Aug 10 2006 Http_get.pm
drwxr-xr-x 2 root root 4096 Jul 2 2013 init
-rwxr-xr-x 1 root root 4730 Jul 4 2013 ipUpdate.pl
-rwxr-xr-x 1 root root 10537 Jul 3 2013 setup.pl
root@raspbx:~/dnsexit# setup.pl
```

Fig. 2.7. Instalación del Servicio DDNS cliente

Una vez ejecutado el comando `setup.pl` irán apareciendo uno a uno los parámetros que se debe configurar, las dos primeras opciones que solicitara son: usuario y contraseña los cuales son los mismos que utilizamos para la creación del sub dominio en la página web, luego de validarlas, automáticamente aparecerá el nombre del dominio creado en la página dnsexit para nuestro caso sería *telefoniahome.linkpc.net*.

Finalmente para comprobar que este correctamente funcionado el servicio de DNS dinámico, se puede realizar un Nslookup al dominio *telefoniahome.linkpc.net* creado y verificar que resuelva la IP pública de nuestro cable modem Motorola.

The screenshot shows the Central Ops.net website interface. At the top, the logo 'Central Ops.net' is displayed with the tagline 'Advanced online Internet utilities'. On the left, a vertical menu lists various utilities: Domain Dossier, Domain Check, Email Dossier, Browser Mirror, Ping, Traceroute, Nslookup, AutoWhois, TcpQuery, and AnalyzePath. The main content area is titled 'Domain Dossier' and includes a search box for 'domain or IP address' containing 'telefoniahome.linkpc.net'. Below the search box are several checkboxes for 'domain whois record', 'DNS records', 'traceroute', 'network whois record', and 'service scan', along with a 'go' button. User information is shown as 'user: anonymous [200.124.231.194]' and 'balance: 49 units'. The 'Address lookup' section displays the canonical name 'telefoniahome.linkpc.net.', aliases, and the IP address '190.130.234.54'. A red arrow points from the text 'IP PUBLICA DEL CABLE MODEM MOTOROLA' to the IP address.

Fig. 2.8. Nslookup al dominio telefoniahome.linkpc.net

## 2.6 Configuración DNAT en el Cable Modem Motorola

Este paso es crucial para el funcionamiento del servicio DDNS, como conocemos ya se tiene el sub dominio apuntando a la IP pública del cable modem residencial, hace falta realizar un re direccionamiento de puertos hacia la IP privada de la central telefónica FreePBX.

Básicamente, lo que se desea lograr es que cualquier petición que provenga desde el Internet hacia la central telefónica el modem lo re direcciona hacia la IP privada asignada para la central telefónica FreePBX en este caso sería hacia la IP 192.168.0.20.

Para lograr esto en la mayoría de los CPE hay una opción llamada Port Forward (re direccionamiento de puerto), que no es más que un Destination NAT (DNAT).

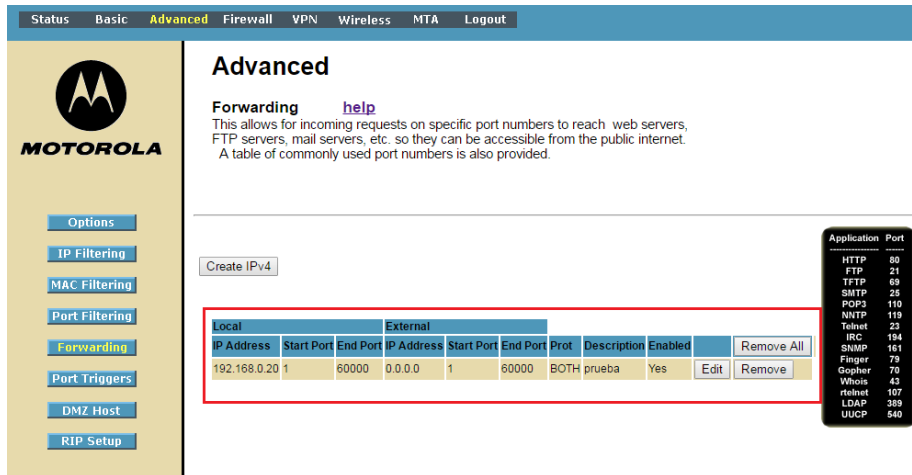
En la tabla 2.2 se detalla los puertos necesarios que utiliza la central telefónica FreePBX y que es necesario realizar un re direccionamiento de puertos en el cable modem Motorola.

**Tabla 2.2.** Servicios y puertos principales utilizados por FreePBX

Servicio	Protocolo	Puerto
HTTP	TCP	80, 8080
SSH	TCP	22
TELENET	TCP	23
SIP	TCP/UDP	5060, 5061
RTP	UDP	10000 – 20000

Una vez conocidos los puertos utilizados por la central telefónica FreePBX, por temas de facilidad de configuración del equipo se ha decidido realizar el DNAT al rango de puertos desde el 1 hasta el 60000 tanto UDP como TCP, debido a que existen equipos que utilizan un mayor número de puertos para el tráfico RTP.

En la figura 2.9 se presenta la configuración del DNAT en el cable modem Motorola SVG1202, donde se abren los puertos TCP Y UDP del 1 al 60000.



**Fig. 2.9.** Configuración DNAT en la equipo CPE Motorola.

## 2.6 Configuración de las extensiones SIP en el FreePBX.

Para la configuración de las extensiones en la central FreePBX, primero se detalla los números de cada usuario, así se tiene visualizado a quien le corresponde cada extensión para que no exista confusión.

En la tabla 2.3 se puede observar en detalle las extensiones SIP de cada miembro del hogar.

**Tabla 2.3.** Descripción de las extensiones

Usuario	Nombre	Extensión	Dispositivo
Hijo	Javier	730	Celular
Hija	Teresa	731	Celular
Papá	Javier	732	Laptop
Novia	Tayra	733	Celular
Mamá	Mariana	734	Teléfono fijo

Para la configuración de las extensiones se ingresa a la central telefónica mediante la utilización de cualquier explorador y se digita el sub dominio creado el cual es *telefoniahome.linkpc.net* una vez adentro se tiene gestión y administración vía web de la central telefónica.

Una vez que se ingresa a la central telefónica vía web se procede a configurar las extensiones de los usuarios de acuerdo a la tabla 2.3.

Para configurar una extensión se deben ingresar 4 parámetros fundamentales, lo cuales se detallan a continuación:

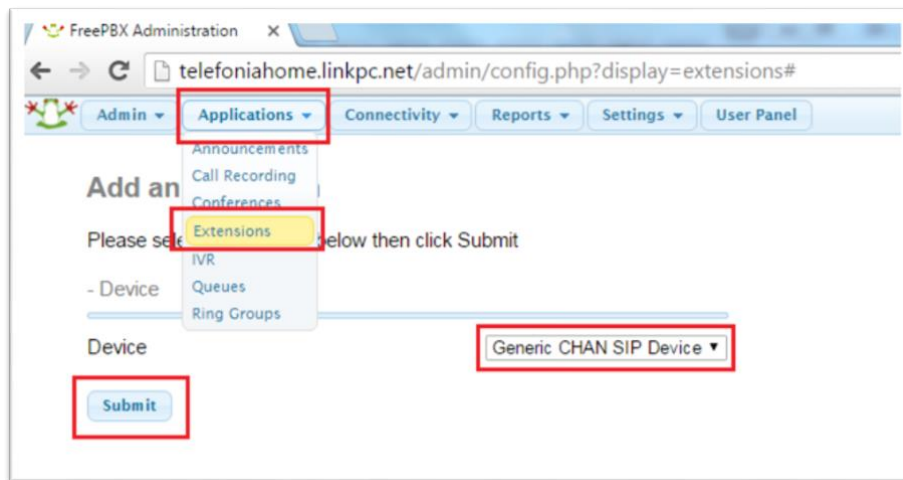
- El tipo de extensión SIP o IAX2
- El número de extensión
- El nombre de la extensión

- La clave de la extensión

Cabe señalar que las extensiones deben tener un número que no se repita.

Para la creación de una extensión damos clic en las opciones en el siguiente orden: Applications→Extensions→ Generic CHAN SIP Device→Submit.

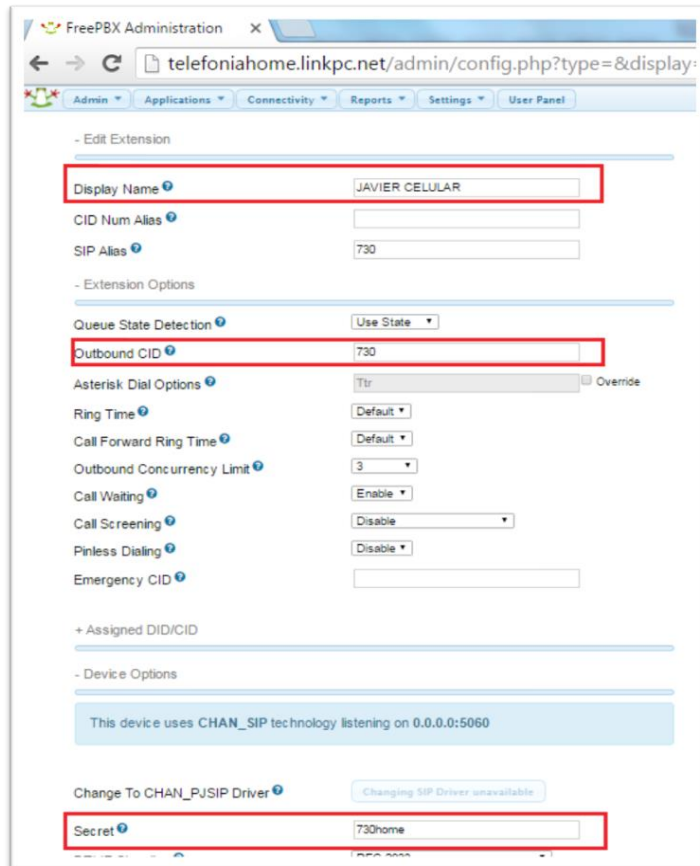
En la figura 2.10 se puede observar los pasos antes detallados.



**Fig. 2.10.** Creación de la extensión

El siguiente paso es crear cada una de las extensiones, asignando los 4 parámetros que se indicó anteriormente, para nuestro ejemplo se crea la siguiente extensión:

- **Tipo de extensión:** SIP
- **Número de la extensión:** 730
- **Nombre de la extensión:** JAVIER CELULAR
- **Clave de la extensión:** 730home



**Fig. 2.11.** Creación de la extensión 730

## 2.7 Configuración del Softphone Zoiper para la PC y celular

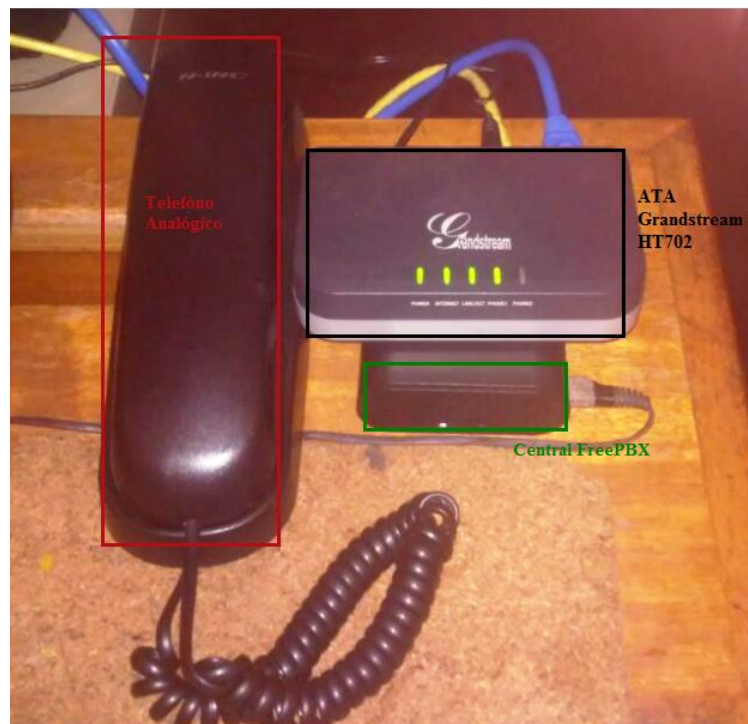
La instalación del Softphone Zoiper en el celular y PC es totalmente básica y sencilla de ejecutar, una vez descargado el programa en todos los pasos se escoge la opción siguiente hasta finalizar la instalación. Para la configuración de la extensión en el Softphone se debe utilizar los mismos parámetros utilizados en la central telefónica FreePBX y que corresponde a cada usuario.

Al finalizar la configuración de los Softphone, estos serán capaces de realizar llamadas sin inconvenientes con los demás usuarios que se encuentren registrados.

## 2.8 Configuración ATA Grandstream HT702

Para utilizar un teléfono convencional para llamar sobre VoIP es necesario utilizar un equipo adaptador el cual convierta la señal analógica a digital, este equipo se le conoce como ATA.

En la figura 2.12 se puede ver el equipo ATA Grandstream HT702 conectado a la red LAN del hogar, el cual se utilizó en este proyecto por sus características técnicas que se adaptan a nuestra central telefónica, entre su parámetros importantes es su fácil configuración y la gama de códec que puede utilizar para comprimir la voz y que son compatibles con nuestra central telefónica FreePBX.



**Fig. 2.13.** Equipos ATA Grandstream HT702 y la Central FreePBX conectados a la red LAN de la casa

Configurado el equipo Grandstream HT702 este va a proceder a registrarse en nuestra central telefónica FreePBX para realizar y recibir llamadas a través del internet.

### 3 Pruebas de Funcionamiento

Para verificar las extensiones registradas se ingresa a la central telefónica mediante ssh, una vez adentro procedemos a ingresar a la consola del Asterisk mediante el comando *asterisk -v*.

Con el comando *#sip show peers* se muestra la información de las extensiones registradas, números de las extensiones, las IP's de los host, los puertos y el estatus con el tiempo que se encuentran registradas las extensiones.

```
raspbx*CLI> sip show peers
Name/username      Host                               Dyn Forcerport Comedia   ACL Port   Status
730/730            201.183.141.181                  D Yes     Yes      A 61455    OK (11 ms)
731/731            (Unspecified)                   D Yes     Yes      A 0        UNKNOWN
732/732            201.183.141.181                  D Yes     Yes      A 62715    OK (15 ms)
733/733            190.131.129.111                  D Yes     Yes      A 55081    OK (28 ms)
734/734            201.183.141.181                  D Yes     Yes      A 61332    OK (10 ms)
5 sip peers [Monitored: 4 online, 1 offline Unmonitored: 0 online, 0 offline]
```

Fig. 3.1. Extensiones registradas

En la figura 3.2 se puede observar la prueba de llamada telefónica desde la extensión 734 (telefonía casa) hacia la extensión 733 (Tayra Celular).

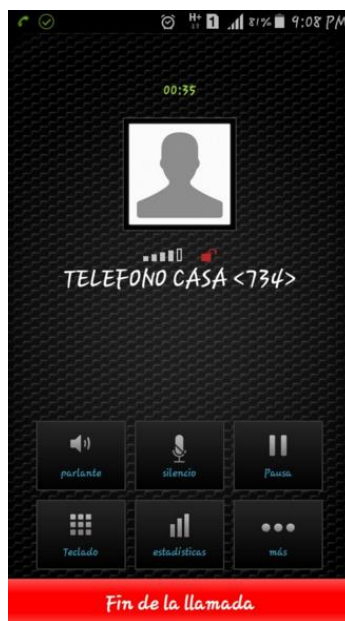


Fig. 3.2. Llamada entrante entre la ext. 734 (Teléfono Casa) hacia la ext. 733 (Tayra Celular)

Para analizar el tráfico de la llamada telefónica se utiliza el software wireshark, que es un analizador de protocolos utilizado para realizar análisis de aplicaciones en tiempo real, como la telefonía IP [3].

En la figura 3.3 se presenta el intercambio de mensajes SIP entre las extensiones 734 y 733, para el establecimiento de la llamada, intercambio de tráfico voz (paquetes RTP) y la finalización de la llamada.

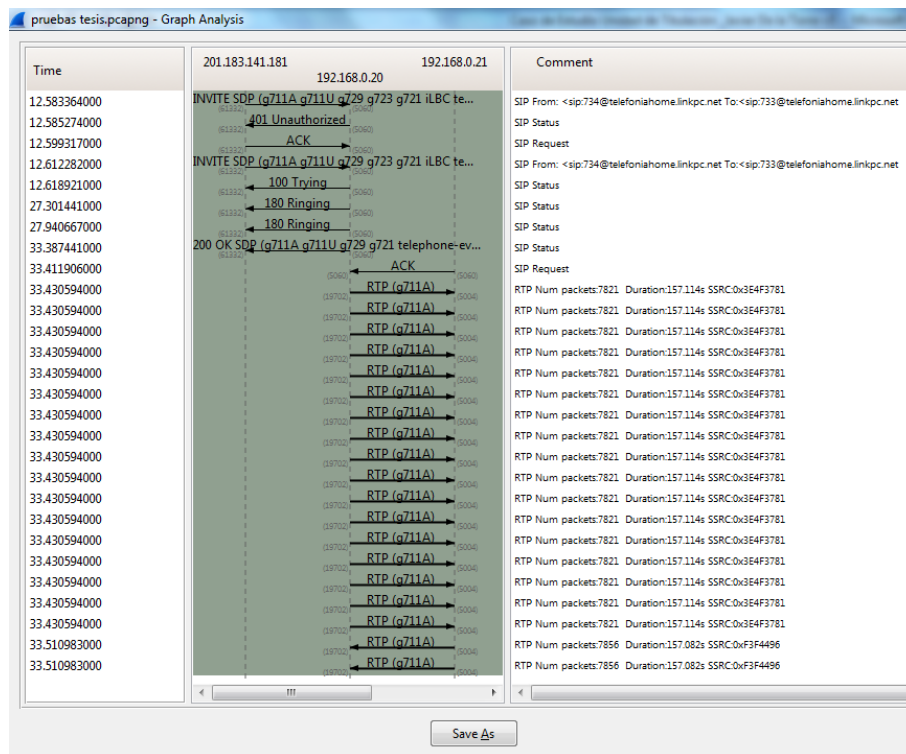


Fig. 3.3. Flujo de mensaje SIP de la llamada desde la extensión 734 hacia la ext. 733

Se puede observar que el primer mensaje SIP enviado es el INVITE por parte del equipo ATA Grandstream HT702 que tiene configurado la extensión 734 (Teléfono casa), en la señalización SIP para el control se utiliza el protocolo SDP, el cual se envía conjuntamente con los mensajes INVITE y 200 OK. Dentro del mensaje SDP se envía los parámetros a negociar como por ejemplo el listado de los codecs que soporta o sí está en la capacidad de trabajar tanto la terminal de origen como destino, en nuestro ejemplo la prioridad de los códec tiene el siguiente orden G711 aluw, G711 uluw, G729. También se envía la IP, el puerto en el cual se desea recibir el audio mediante el protocolo RTP.

En la figura 3.4 se puede observar la cabecera del mensaje SIP INVITE de la llamada realizada desde la extensión 734 hacia la extensión 733.

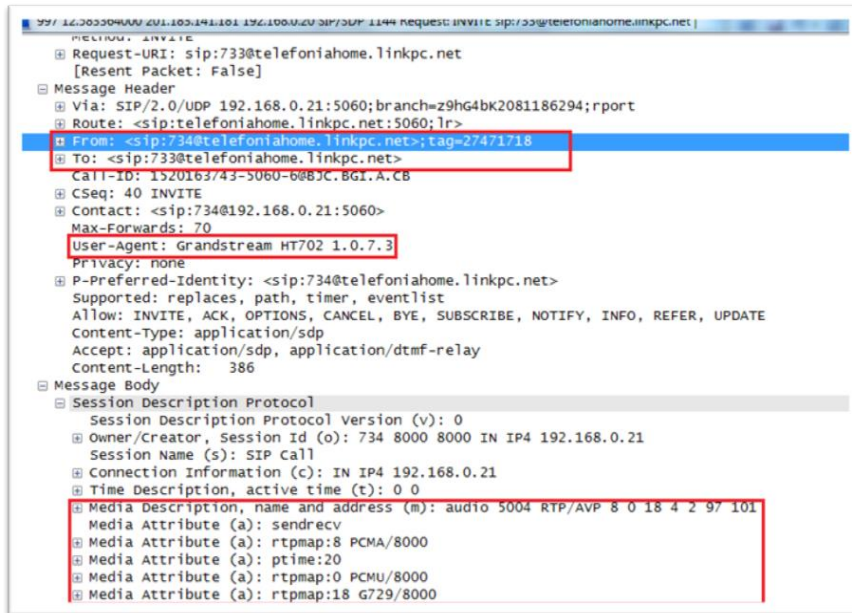


Fig. 3.4. Cabecera del mensaje SIP Invite

Inmediatamente después de recibir la solicitud del INVITE, se envía un mensaje de respuesta TRYING, el cual indica que recibió la petición de la llamada y está listo a procesarla, esto lo realiza para detener la retransmisión de INVITE.

A continuación se envía en el mismo sentido el cual es desde la central telefónica hacia el equipo origen, todas las respuesta provisionales generadas por el usuario destino como por ejemplo el 180 Ringing el cual indica que está timbrando en el destino. (Ver figura 3.5)

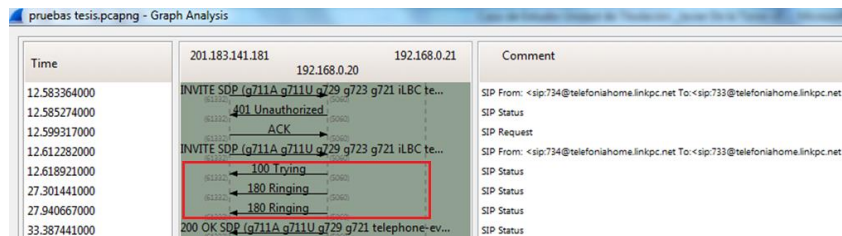


Fig. 3.5. Mensajes SIP Trying y Ringing entre las extensiones 734 y 733

Al momento de aceptar la comunicación, que no es más que el usuario destino al contestar llamada, retransmite un mensaje de respuesta 200 OK con un mensaje SDP, proponiendo el códec a utilizar, de acuerdo al ejemplo realizado se visualiza que el códec que negocian entre los dispositivos es el códec G711 aluw. En este punto la llamada se establece y comienza a transmitirse el tráfico de voz mediante el envío de paquetes RTP.

En la figura 3.6 se muestra la cabecera del mensaje SIP 200 OK.

```
1129 33.38/441000 192.168.0.20 201.183.141.181 SIP/SIP 956 Status: 200 OK |
Frame 1125: 956 bytes on wire (7648 bits), 956 bytes captured (7648 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Raspberr_20:1c:fa (b8:27:eb:20:1c:fa), Dst: 78:96:84:69:a5:e1 (78:96:84:69:a5:e1)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.20 (192.168.0.20), Dst: 201.183.141.181 (201.183.141.181)
User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: 61332 (61332)
Session Initiation Protocol (200)
  Status-Line: SIP/2.0 200 OK
    Status-Code: 200
    [Resent Packet: False]
    [Request Frame: 1000]
    [Response Time (ms): 20776]
  Message Header
    Via: SIP/2.0/UDP 192.168.0.21:5060;branch=z9hG4bK1825043557;received=201.183.141.181;rport=61332
    From: <sip:734@telefoniahome.linkpc.net>;tag=27471718
    To: <sip:733@telefoniahome.linkpc.net>;tag=as4fbc9eaf
    Call-ID: 1520163743-5060-6@BJC.BGI.A.CB
    CSeq: 41 INVITE
    Server: FPBX-12.0.76.2(11.21.0)
    Allow: INVITE, ACK, CANCEL, OPTIONS, BYE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, PUBLISH, MESSAGE
    Supported: replaces, timer
    Session-Expires: 1800;refresher=uas
    Contact: <sip:733@192.168.0.20:5060>
    Content-Type: application/sdp
    Require: timer
    Content-Length: 334
  Message Body
    Session Description Protocol
      Session Description Protocol Version (v): 0
      Owner/Creator, Session Id (o): root 1321671920 1321671920 IN IP4 192.168.0.20
      Session Name (s): Asterisk PBX 11.21.0
      Connection Information (c): IN IP4 192.168.0.20
      Time Description, active time (t): 0 0
      Media Description, name and address (m): audio 19702 RTP/AVP 8 0 18 2 101
      Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000
```

**Fig. 3.6.** Cabecera SIP del mensaje 200 OK de la llamada desde la ext.734 hacia la ext. 733

Al finalizar la llamada, el usuario cuelga la llamada, se envía el mensaje SIP BYE.

En la figura 3.7 se puede observar las estadísticas de envío del tráfico RTP desde la extensión 733 hacia la extensión 734. Se evidencia que tiene un máximo jitter de 62,80 ms y no tiene paquetes RTP perdidos, lo que hace que la cálida del audio sea buena.

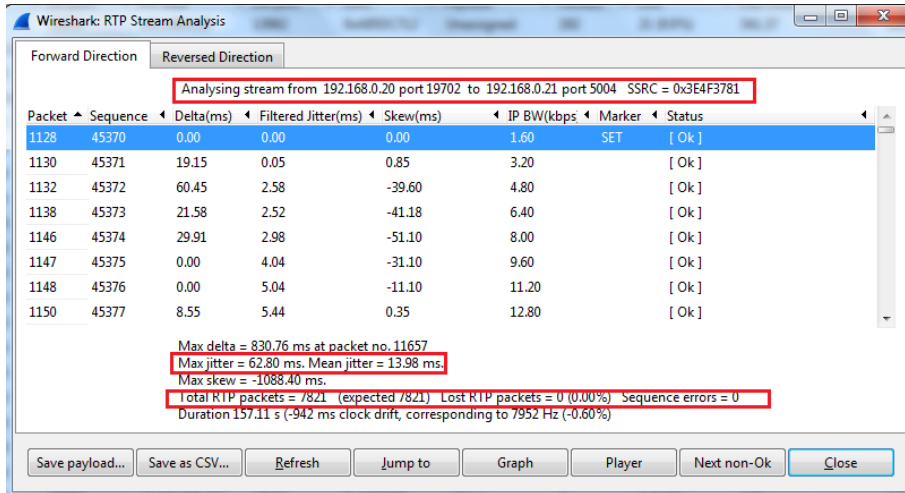


Fig. 3.7. Estadísticas de tráfico envía desde la ext. 733 hacia la ext.734

En la figura 3.8 se puede observar las estadísticas del envío del tráfico RTP desde la extensión 734 hacia la extensión 733. Se evidencia que tiene un máximo jitter de 2,04 ms y no tiene paquetes RTP perdidos, lo que hace que la cálida del audio sea buena.

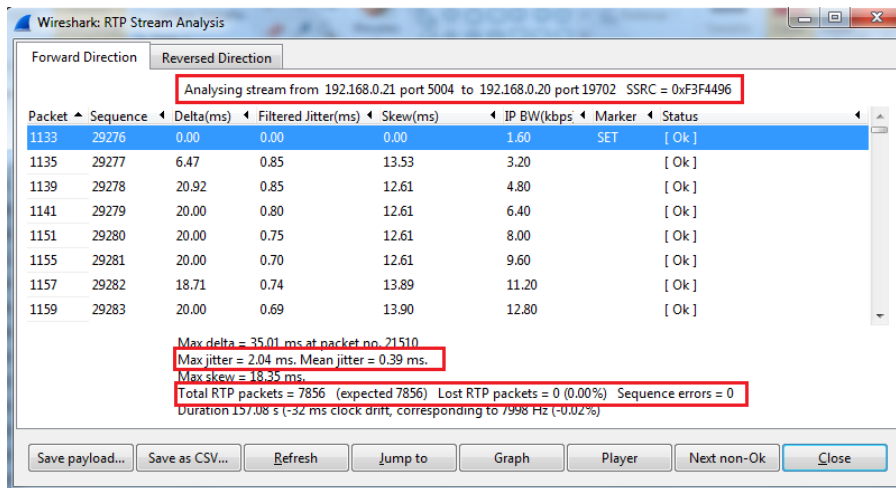


Fig. 3.8. Estadísticas de tráfico envía desde la ext. 734 hacia la ext.734

## 4 Conclusiones y Recomendaciones

- La implementación de la central telefónica en el hogar permite a los miembros de la familia estar comunicados entre sí, con el único requisito que tengan una conexión a internet, obteniendo un ahorro ya que se evita el pago de minutos que se tiene al utilizar operadoras fijas y móviles.
- En las pruebas, que se realizó con internet inalámbrico y cableado de los diferentes proveedores de internet residencial se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que se logró tener una buena calidad de voz y sin pérdidas de paquetes llegando a tener un MOS de 4,5.
- En las pruebas de funcionamiento de llamadas realizadas a través de la red datos móvil +HSPA, donde el usuario está en movimiento se produce un deterioro en la calidad del audio, por lo que se sugiere, si se va utilizar la red móvil 3,5G no movilizarse mientras se realiza la llamada telefónica.
- Con la utilización de la central telefónica se tiene un equipo para control y gestión de las llamadas telefónicas que realizan los usuarios, donde las llamadas podrán realizarlas desde cualquier parte del mundo con el otorgamiento de las credenciales ya preestablecidas en la central.
- El equipo Rasberry Pi 2 modelo B, por sus características de arquitectura pequeña y de procesamiento simplificado es ideal su utilización como central telefónica en el hogar, debido a que el número de llamadas simultáneas no van a ser excesivas y su tamaño pequeño es más estético que un ordenador grande, el cual ocuparía mucho más espacio físico.
- Al utilizar software libre es de fácil acceso al público, ya que no se tiene que pagar por un licenciamiento, a diferencia de un equipo propietario con lo cual disminuye el costo en la implementación.
- DDNS es el método utilizado en este proyecto para publicar la central telefónica en la nube de internet siendo efectivo, pero no está exento de cualquier problema que presente el proveedor, por lo que más aconsejable es invertir para contar con una IP pública fija; las cotizaciones realizadas a los diferentes proveedores locales no tiene un costo elevado.
- En el proceso de implementación y operación de la central telefónica se obtuvieron varios ataques externos por usuarios no autorizados, los mismos que deseaban realizar llamadas telefónicas, pero sin riesgo alguno para el usuario final ya que la central telefónica no tiene salida hacia la PSTN, por lo

expuesto se debería a futuro analizar la implementación de políticas de seguridad en la central como por ejemplo el cambio de puerto 5060 utilizado en SIP.

- El ancho de banda que debe tener el internet residencial es mínimo de 1Mbps, considerando el peor de los escenarios donde todos los usuarios están realizando llamadas y que estas se establezcan con el códec G711 aluw.
- Si se desea que los usuarios tengan salida hacia la PSNT se lo puede hacer mediante la instalación en la central telefónica de un módulo USB a Ethernet con lo cual se podría contratar con un proveedor de telefonía fija una troncal SIP.
- Si se desea ampliar los usuarios que van a realizar llamadas telefónica a través de la central telefónica se recomienda buscar un hardware de características superiores, ya que el equipo Raspberry Pi 2 con Asterisk soporta hasta 10 llamadas concurrentes.

## Agradecimientos

Este trabajo fue propuesto como tema de graduación en la Maestría de Redes de Comunicación de la Pontífice Universidad Católica del Ecuador. El autor agradece al Dr. Javier De la Torre Prado por su apoyo incondicional en sacar adelante este proyecto.

## Referencias

1. Digium. (20 de marzo de 2016). Digium: The Gold Standard In Asterisk Hardware. Obtenido de Digium: The Gold Standard In Asterisk Hardware: <https://www.digium.com/products/asterisk/hardware>
2. Elastix. (1 de abril de 2016). Configurar DNS Dinamico. Obtenido de <http://elastixtech.com/configurar-dns-dinamico-en-elastix/>
3. QuareaITC. (2008). Manual FrePBX. Barcelona- España.
4. Wireshark. Captura conversaciones VoIP. Protocolo SIP, SDP y RTP. Extracción de audio. (5 de abril de 2010). Obtenido de Wireshark. Captura conversaciones VoIP. Protocolo SIP, SDP y RTP. Extracción de audio.: <https://seguridadyredes.wordpress.com/2010/04/05/wireshark-captura-conversaciones-voip-protocolo-sip-sdp-y-rtp-extraccion-de-audio/>
5. Mundo, V. (10 de abril de 2016). configurar-el-grandstream-ht702. Obtenido de configurar-el-grandstream-ht702: <http://www.voip-mundo.com/ayuda/como-configurar-el-grandstream-ht702>.

6. Johnston, A. B. (2009). SIP Understanding the Session Initiation Protocol. Boston: Artech House.
7. UIT. (2005). Manual sobre redes basadas en el protocolo Internet (IP) y asuntos conexos. UIT.
8. Feit. (1997). TCP/IP. Editorial McGraw-Hill.
9. Stalling, W. (6ta edicion). Comunicaciones y redes de Computación. Prentice Hall.
10. Tanenbaum, A. S. (2003). Redes de Computadoras. Mexico: Person Educación.
11. H. Schulzrinne, S. C. (2003). "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550.