

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

“DISEÑO DE UNA RED DE TELEFONÍA IP ECONÓMICA PARA EL HOGAR”

JOSÉ JAVIER DE LA TORRE GUZMÁN

Quito – 2016

AUTORÍA

Yo, José Javier De la Torre Guzmán, portador de la cédula de ciudadanía No. 1718161043, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

José Javier De la Torre Guzmán

TABLA DE CONTENIDO:

1. Introducción.....	9
2. Justificación.....	10
3. Antecedentes.....	12
4. Objetivos.....	14
5. Desarrollo del Caso de Estudio.....	15
5.1 Introducción	15
5.1.1 Situación actual de la central telefónica IP para el hogar.....	16
5.1.2 Su aplicación a nivel Mundial	18
5.2 Estudio de los protocolo y codecs utilizados para VoIP	19
5.2.1 Protocolo de Señalización Sesi3n Initiation Protocol (SIP).....	20
5.2.2 Protocolo IP	23
5.2.3 Protocolo TCP	26
5.2.4 Protocolo UDP.....	27
5.2.5 Protocolo RTP y RTCP	28
5.2.6 Codecs	30
5.3 Asterisk.....	31
5.3.1 Distribuciones de Asterisk.....	32
5.3.2 Beneficios de Asterisk	32
5.3.3 Funciones B3sicas.....	33
5.3.4 Funciones Avanzadas	34
5.3.5 Distribuci3n FreePBX	34
5.4 Equipamiento a utilizar	35

5.4.1	Raspberry Pi 2 Modelo B	35
5.4.2	Adaptador ATA VoIP Grandstream HT702.....	37
5.4.3	Ordenadores y teléfonos móviles	39
5.5	Diseño de la central telefónica para el Hogar	41
5.5.1	Llamadas simultáneas con Raspberry Pi 2 modelo B y Asterisk	42
5.5.2	Instalación de RasPBX	45
5.5.3	Configuración de red del cable modem Motorola SVG1202	47
5.5.4	Configuración de red del Raspberry Pi 2 modelo B	48
5.5.5	Configuración del DNS Dinámico	50
5.5.6	Configuración DNAT en el Cable Modem Motorola.....	55
5.5.7	Configuración de las extensiones SIP en el FreePBX.....	57
5.5.8	Configuración del Softphone Zoiper para la PC y celular.....	61
5.5.9	Configuración ATA Grandstream HT702	63
5.5.10	Pruebas de Funcionamiento	67
5.6	Costo Beneficio	73
5.6.1	Costos	73
5.6.2	Beneficio.....	73
6.	Conclusiones y Recomendaciones	75
	Bibliografía:.....	77
	Anexos:.....	¡Error! Marcador no definido.

TABLA DE FIGURAS:

Fig. 5-1 Diagrama de red de Internet y Telefonía de un hogar convencional.	16
Fig. 5-2 Esquema básico de una conexión de telefonía IP.	18
Fig. 5-3 Utilización de SIP para la comunicación de telefonía a nivel mundial.....	19
Fig. 5-4 Intercambio de mensajes SIP en una llamada telefónica.	22
Fig. 5-5 Datagrama IP se encapsula dentro de la Trama	24
Fig. 5-6 UDP utiliza al protocolo IP para la comunicación.....	27
Fig. 5-7 Formato del segmento UDP	28
Fig. 5-8 RTP restaura el orden de los paquetes enviados.	29
Fig. 5-9 Placa del Raspberry Pi 2 modelo B	36
Fig. 5-10 Esquema básico de conexión de un equipo ATA.....	37
Fig. 5-11 ATA VoIP Grandstream Ht702.....	38
Fig. 5-12 Zoiper para PC	39
Fig. 5-13 Zoiper para Celular.....	40
Fig. 5-14 Diagrama de red donde consta la central telefónica para el hogar.....	41
Fig. 5-15 Placa Base del Raspberry Pi 2 modelo B	44
Fig. 5-16 Parte frontal del Raspberry Pi 2	44
Fig. 5-17 Memoria micro SD Kingston de 32 GB.....	45
Fig. 5-18 Win32DiskImager para grabar RasPBX en la tarjeta micro SD	46
Fig. 5-19 Memoria micro SD en la ranura de Raspberry Pi 2	46
Fig. 5-20 Configuración DHCP del modem Motorola del proveedor de servicio de internet.	47
Fig. 5-21 Configuración LAN y WAN de cable modem Motorola del proveedor de servicio de internet.....	48
Fig. 5-22 Configuración de la tarjeta de red del Raspberry Pi 2.....	49

Fig. 5-23 Pruebas de ping desde la Central telefónica hacia la puerta de enlace y DNS de Google.....	49
Fig. 5-24 Página www.dnsexit.com para crear subdominios gratis.....	51
Fig. 5-25 Creación del dominio telefoniahome.linkpc.net el cual va ser el SIP server	52
Fig. 5-26 Descarga del cliente DDNS para Linux	53
Fig. 5-27 Descomprimir el archivo que contiene el cliente DDNS	54
Fig. 5-28 Instalación del Servicio DDNS cliente.....	54
Fig. 5-29 Nslookup de la página Central OPS para el dominio telefoniahome.linkpc.net	55
Fig. 5-30 Configuración DNAT en la equipo CPE Motorola.....	57
Fig. 5-31 Pantalla principal del FreePBX.....	58
Fig. 5-32 Creación de la extensión	59
Fig. 5-33 Creación de la extensión 730	60
Fig. 5-34 Listado de las extensiones creadas	61
Fig. 5-35 Configuración del Zoiper para PC	62
Fig. 5-36 Extensión SIP registrada en el SIP Server	62
Fig. 5-37 Configuración de una extensión de un usuario con celular.....	63
Fig. 5-38 Equipos ATA Grandstream HT702 y la Central FreePBX conectados a la red LAN de la casa.....	64
Fig. 5-39 Conexión del equipo Grandstream HT702.....	65
Fig. 5-40 Acceso al equipo ATA Grandstream HT702	65
Fig. 5-41 Configuración SIP del equipo Grandstream HT702	66
Fig. 5-42 Configuración de los codecs en el equipo Grandstream HT702.....	67
Fig. 5-43 Extensiones registradas	67
Fig. 5-44 Llamada entrante entre la ext. 734 (Teléfono Casa) hacia la ext. 733 (Tayra Celular)	68

Fig. 5-45 Flujo de mensaje SIP de la llamada desde la extensión 734 hacia la extensión 73369	
Fig. 5-46 Cabecera del mensaje SIP Invite	70
Fig. 5-47 Mensajes SIP Trying y Ringing entre las extensiones 734 y 733	71
Fig. 5-48 Cabecera SIP de mensaje 200 OK de la llamada desde la ext.734 hacia la ext. 73371	
Fig. 5-49 Estadísticas de tráfico envía desde la ext. 733 hacia la ext.734	72
Fig. 5-50 Estadísticas de tráfico envía desde la ext. 734 hacia la ext.734	72

INDICE DE TABLAS:

Tabla 5-1 Clasificación en clases a las direcciones IP	24
Tabla 5-2 Uso de los diferentes rangos de direccionamiento IPv4.....	25
Tabla 5-3 Comparación de codecs de telefonía IP.....	31
Tabla 5-4 Características de Raspberry Pi 1	35
Tabla 5-5 Características del Raspberry Pi 2 modelo B	37
Tabla 5-6 Requerimiento mínimos de hardware recomendados por Asterisk.....	42
Tabla 5-7 Servicios y puertos principales utilizados por FreePBX	56
Tabla 5-8 Descripción de las extensiones.....	57
Tabla 5-9 Descripción de costos de la central telefónica.....	73
Tabla 5-10 Descripción de los gastos de los miembros del hogar	74

1. Introducción

Actualmente la telefonía IP en los hogares del Ecuador no tiene mucha difusión ya que la telefonía convencional sigue prevaleciéndose en nuestra sociedad.

Con el avance de la tecnología donde se está convergiendo a la redes de nueva generación; las telecomunicaciones en la actualidad están trabajando sobre el protocolo IP sea versión 4 o versión 6 para enlazar las comunicaciones, debido a esto la telefonía IP ha encontrado un lugar para desarrollarse a pasos gigantescos, a futuro la comunicación entre hogares y miembros del hogar tendrá por base una telefonía IP.

Haciendo un recuento de la comunicación digital de la voz entre personas, la comunicación móvil fue la que se desarrolló especialmente en el Ecuador y donde actualmente ya se está estancando, debiendo señalar que la evolución de las telecomunicaciones se está direccionando al transporte de gran capacidad de datos; ahí es donde debemos aprovechar para transportar la voz digitalmente, ya que debido al poco ancho que se utiliza para digitalizar la voz, los grandes canales nos dan una calidad de audio iguales o superiores a la telefonía convencional llegando a tener un tiempo real para el usuario.

El internet es el medio de comunicación desplegado a gran escala actualmente en el mundo el cual nos brinda un camino existente en cada hogar o sitio con acceso a esta tecnología para la comunicación de voz entre personas. En los hogares la telefonía IP comenzó a popularizarse por medio de programas que utilizaban el Internet como red de transporte, permitiendo que los usuarios con solo unos auriculares, micrófono y tarjeta de sonido pudieran mantener conversaciones entre PC's, actualmente lo que se busca es tener centrales IP para que ellas permitan la comunicación no solo entre empresas o hogares sino de cualquier tipo de usuario que desee aplicar esta tecnología como medio de comunicación; lo cual motiva el estudio del presenta trabajo.

2. Justificación

Las ventajas más importantes de la telefonía IP es la simplificación de la infraestructura de comunicaciones y la reducción de costo ya que solo se requiere que exista conexión a red para realizar llamadas por medio de un teléfono IP.

Entre otras de las características es la calidad de audio, estabilidad en épocas de lluvias, servicio de contestadora de llamadas, identificador de números entrantes, llamada en espera, desvío de llamadas, conferencia de voz, directorio de números institucionales y personal, programación de teclas rápidas y grupos de llamadas.

Con una central telefonía IP en la casa podemos controlar las comunicaciones entre los miembros del hogar o las personas de nuestra comunidad que estén en cualquier parte del mundo, teniendo la posibilidad de establecer las llamadas que deseamos y que estén conectadas entre sí, adicionalmente con la instalación en nuestros teléfonos móviles de un software conocidos como Softphone se registrará a los celulares a nuestra central telefónica para que se pueda realizar llamadas a otros Softphone o a otros teléfonos convencionales usando VoIP, esto nos va a permitir estar siempre comunicados y a un costo muy bajo.

La importancia de este proyecto radica en un diseño de red económico de telefonía IP para el hogar utilizando las características antes mencionadas para implementar una central IP para la comunicación no solo para los miembros de hogar sino de cualquier persona que quiera comunicarse dentro de nuestra comunidad.

Todo esto va a permitir la comunicación de las personas sin 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.

La importancia en la elaboración de este proyecto radica en brindar una nueva alternativa en la comunicación de voz que será a futuro la que se utilizará dentro del usuario familiar e incluso a nivel mundial lo que desplazaría la telefonía convencional.

3. Antecedentes

La primera llamada sobre VoIP se realizó en el 1973, como resultado del experimento del protocolo de red de voz NVP (Network Voice Protocol) inventada por el pionero ARPANET¹.

La telefonía IP empezó como el resultado del trabajo de un grupo de jóvenes en Israel durante 1995. En aquella época la única comunicación posible era de PC a PC.

La telefonía sobre Internet difiere de los servicios de VoIP más modernos que utilizan el protocolo H.323 en lugar del protocolo SIP que es más habitual hoy en día.

El desarrollo del ancho de banda también ayudó al crecimiento de VoIP mediante el aumento de la calidad de las llamadas y la reducción de los problemas de latencia. La VoIP es una tecnología que permite la transmisión de la voz a través de redes IP en forma de paquetes de datos y sus elementos son clientes, servidores y Gateway.

Las Comunicaciones IP permiten a las empresas implementar redes convergentes, donde los servicios de voz, video y datos son provistos sobre la red IP de una manera segura, generando beneficios tales como la reducción de costos operativos y aumento de la productividad de los empleados.

La aplicación más notoria de esta tecnología, es la realización de llamadas telefónicas ordinarias a través de la red.

La voz sobre IP convierte las señales en estándar de paquetes de datos comprimidos que son transportados a través de redes de datos en lugar de líneas telefónicas tradicionales. Su principal objetivo es asegurar la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes, fijando aspectos tales como la supresión de silencios, codificación de la voz y direccionamiento, a la vez de establecer nuevos elementos para permitir la conectividad con la infraestructura telefónica tradicional.

¹ ARPANET.- Fue una red de computadoras creada por encargo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos para utilizarla como medio de comunicación entre las diferentes instituciones académicas y estatales.

Existen tres tipos de llamadas:

- PC a PC, siempre gratis.
- PC a Teléfono, gratis en algunas ocasiones, depende del destino.
- Teléfono a Teléfono, muy baratas.

La VoIP es un conjunto de normas, dispositivos, protocolos, en definitiva converge en la utilización de tecnología que permite comunicar voz sobre protocolo de internet y telefonía sobre IP; es el servicio telefónico disponible al público realizado con tecnología de VoIP.

La aplicación de VoIP proporcionaría a las delegaciones de una misma empresa u hogares comunicaciones gratuitas entre ellas, con el ahorro de costos. No solo entre sus delegaciones, sino entre proveedores, intermediarios y vendedores finales. Las conexiones a internet sólo la pueden usar aquellas personas que posean una conexión con internet que tengan computadora con módem y una línea telefónica.

4. Objetivos

Objetivo General:

Diseñar una red de telefonía IP económica enfocada a la comunicación entre los integrantes de un hogar o en su defecto a nivel de aquellos usuarios que tengan acceso a este sistema utilizando como medio de transporte el internet.

Objetivos Específicos:

1. Analizar la situación actual de las centrales IP para los hogares y estudiarlos en su aplicación a nivel mundial.
2. Estudiar el equipamiento, infraestructura de red y configuración lógica a utilizar para el diseño de la red de telefonía IP.
3. Diseñar la red de telefonía IP para el hogar utilizando el internet como medio de transporte.
4. Analizar el costo beneficio del diseño que se propone en este caso de estudio.

5. Desarrollo del Caso de Estudio

5.1 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.

En la figura 5.1 se presenta una red convencional de un hogar donde tenemos varios dispositivos conectados al internet como laptops, computadores de escritorio, teléfonos móviles y totalmente aparte tenemos la telefonía fija.

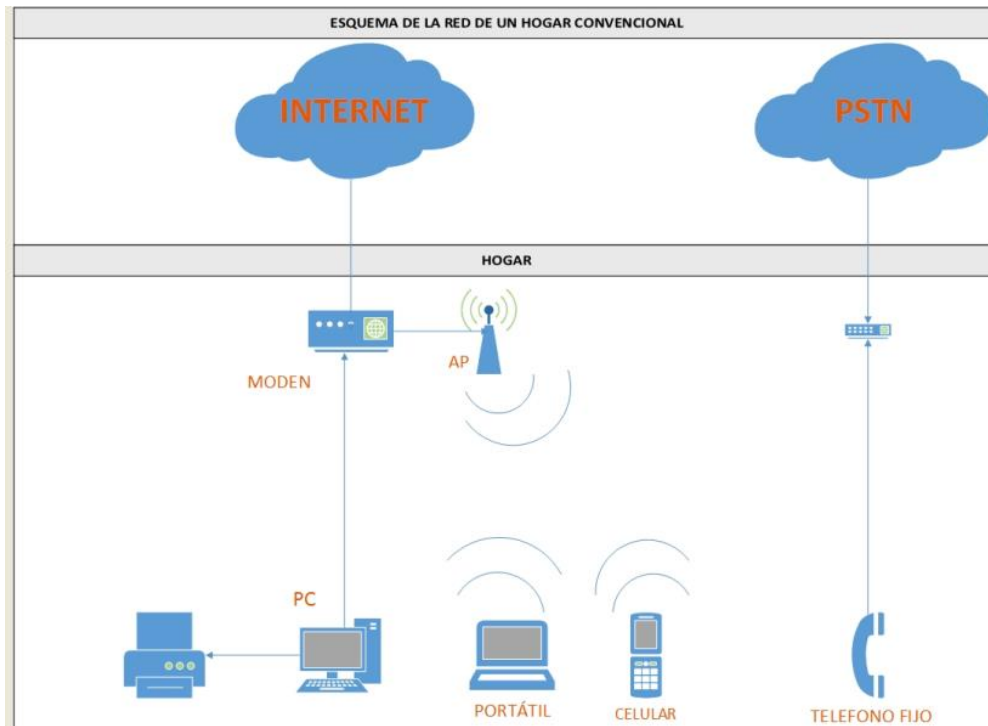


Fig. 5-1 Diagrama de red de Internet y Telefonía de un hogar convencional.

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.

5.1.1 Situación actual de la central telefónica IP para el hogar.

Actualmente no existe muchos proveedores de centrales telefónicas IP que estén enfocados en dar una solución para la telefonía residencial, la mayoría de proveedores están desarrollando esta tecnología hacia la pequeñas, medianas y grandes empresas.

A continuación se detalla algunas marcas de centrales telefónicas IP empresariales que existen en el mercado:

- Avaya
- Alcatel
- Fortivoice
- Cisco
- Grandstream, etc.

Las centrales que se mencionan son equipos que proporcionan un servicio de telefonía fija a costos elevados, por lo que en este caso de estudio lo que se busca es desarrollar una central telefónica IP económica con hardware y software suficiente para soportar la carga de llamadas de sus usuarios, la misma que va estar ubicada en la casa para gestionar y administrar la red de telefónica.

Actualmente existen software libres basados en Asterisk con ambientes amigables para la configuración como por ejemplo Elastix, FreePBX y entre otros programas que nos brindan las mismas características de una central telefónica propietaria, disminuyendo significativamente la inversión para una familia y con el mismo resultado final, teniendo como limitante la características del hardware donde se instala.

A continuación se muestra un esquema básico de una conexión de telefonía sobre IP utilizando como medio de transporte entre dos puntos el internet. El punto A y B son dos casas comunes donde existen teléfonos móviles, analógicos, portátiles y ordenadores, los cuales se van a utilizar para VoIP; además está en el hogar la central telefónica IP para encargarse de administrar, gestionar y establecer las llamadas telefónicas entre los usuarios finales.

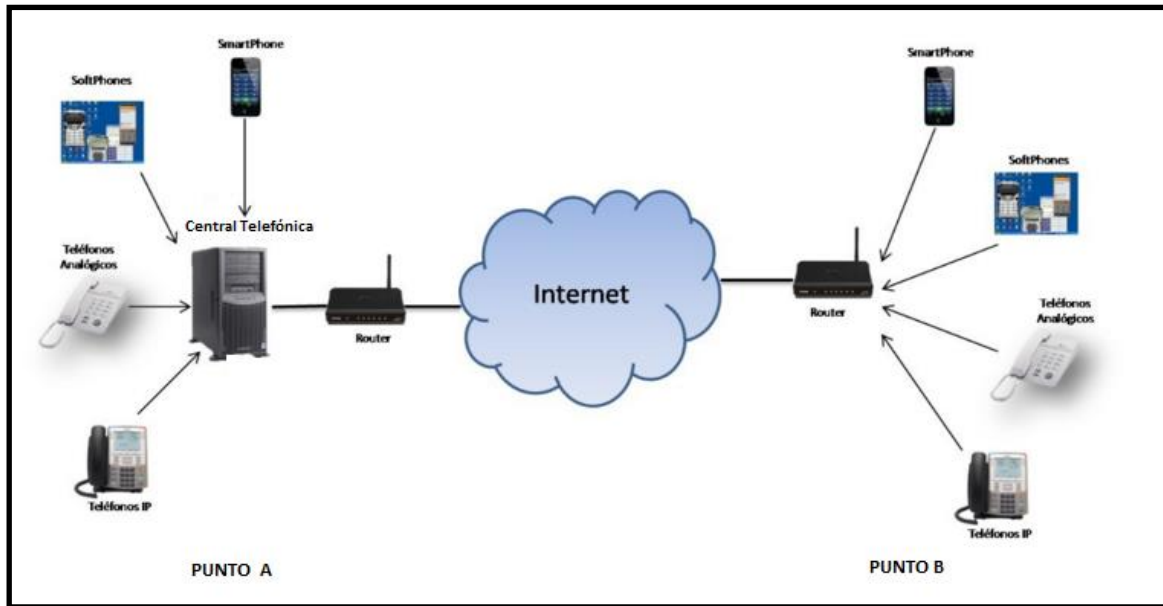


Fig. 5-2 Esquema básico de una conexión de telefonía IP.

5.1.2 Su aplicación a nivel Mundial

Actualmente se han creado protocolos que sirven para la comunicación a nivel mundial como son HTTP para la navegación web y SMTP para el envío de correos electrónicos, para la comunicación de streams de video y audio sobre el internet existe el protocolo SIP creado para la comunicación en tiempo real a través del internet y es el protocolo usado actualmente para realizar las nuevas instalaciones de VoIP a nivel mundial.

Los usuarios SIP que están en la red LAN tienen un alcance global ya que pueden estar conectados con todos los clientes SIP a través del internet.

En figura 5-3 se presenta la difusión del protocolo SIP para la comunicación en tiempo real a nivel mundial.

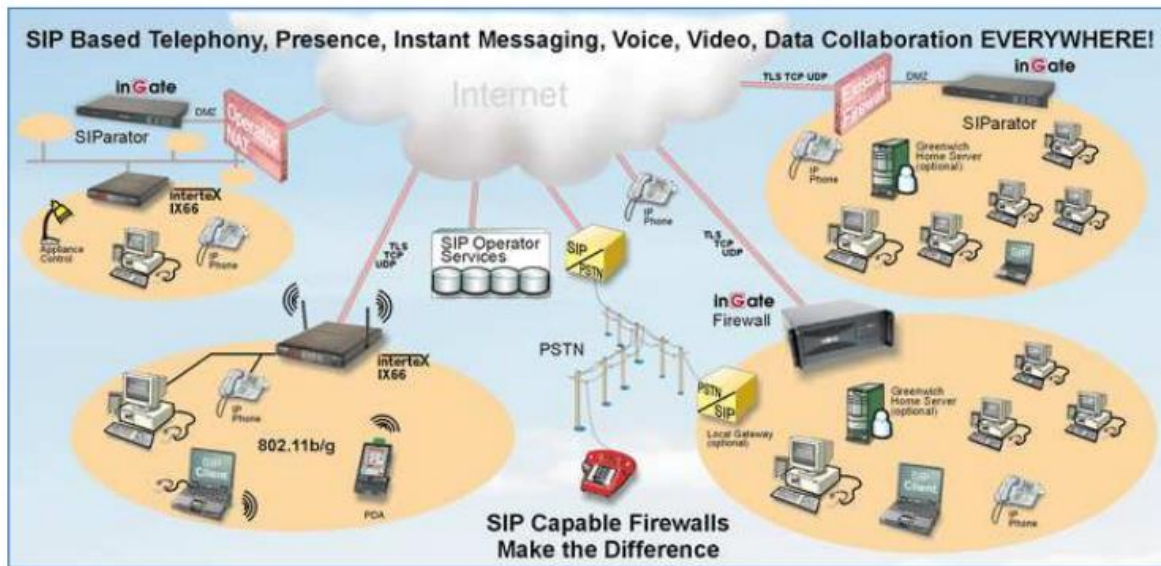


Fig. 5-3 Utilización de SIP para la comunicación de telefonía a nivel mundial

Como se puede observar en el Figura 5-3 las centrales telefónicas IP para que puedan ser utilizadas como SIP Server tienen que ser publicadas en la nube del internet para que sean alcanzables por cualquier usuario SIP, en este caso de estudio se va a utilizar el método de Dynamic DNS para publicar en internet la central telefónica del hogar el cual se va a explicar más adelante.

Una vez que la central telefónica es accesible desde internet las comunicaciones entre usuarios no solo se realizarán entre ciudades o provincias, sino que pueden ser utilizadas a nivel mundial. Los usuarios con solo tener una conexión a internet podrán comunicarse a nuestra central telefónica y con las credenciales correspondientes podrá realizar llamadas entre ellos desde cualquier parte de mundo.

5.2 Estudio de los protocolos y codecs utilizados para VoIP

Para el presente proyecto se va a utilizar el protocolo SIP como protocolo de señalización para establecer las llamadas sobre el internet.

5.2.1 Protocolo de Señalización Sesi3n Initation Protocol (SIP)

SIP es un protocolo de se1alizi3n para telefonía, video, notificaci3n de eventos y mensajería instantánea a trav3s del internet, fue desarrollado para configurar, modificar y derivar las sesiones multimedia.

Una vez que la sesi3n est1 establecida, los participantes intercambian directamente tr1fico de audio o video mediante la utilizaci3n del protocolo RTP (Real Time Transport Protocol).

SIP no es un protocolo que va a reservar recursos, por lo que no asegura la calidad de servicio o de la comunicaci3n, m1s bien la funci3n del protocolo es de control de la llamada.

Los componentes presentes en SIP son [1]:

1. Agentes de Usuario (UA): Existen dos tipos de agentes de usuario, los cuales est1n presentes siempre y permiten la comunicaci3n entre el cliente y el servidor:
 - a. Agente de Usuario Cliente (UAC): El UAC genera peticiones SIP y recibe respuestas.
 - b. Agente de Usuario Servidor (UAS): El UAS responde a las peticiones SIP.
2. Existen tres clases l3gicas de servidores SIP. Un servidor puede tener una o m1s de las siguientes clases [1]:
 - a. Servidor de Redirecci3n (Redirect Server): Reencamina las peticiones que recibe hacia el pr3ximo servidor.
 - b. Servidor Proxy (Proxy Server): Corren un programa intermediario que actúa tanto de servidor como de cliente para poder establecer llamadas entre los usuarios.
 - c. Servidor de Registro (Registrar Server): Este servidor solo acepta mensajes REGISTER, lo que hace f1cil la localizaci3n de los usuarios, pues el usuario donde se encuentre siempre tiene que registrarse en el servidor.

Para SIP se define dos tipos de mensaje esto son: Petición y Respuesta [1].

1. La petición se define 6 tipos de mensajes básicos:
 - a. INVITE.- Permite invitar a un usuario a participar en una sesión o para modificar parámetros de una ya existente.
 - b. ACK.- Confirma el establecimiento de la sección.
 - c. OPTION: Es utilizado por un cliente SIP para consultar a otro cliente o servidor SIP sobre sus capacidades, tipo de contenido, codecs, payload SDP, etc.
 - d. BYE.- Se utiliza para finalizar una sesión previamente establecida.
 - e. CANCEL.- Cancela una petición pendiente.
 - f. REGISTER: Registra al Agente Usuario (UA).
2. Para las respuestas existen también mensajes SIP que están definidos de acuerdo a su primer dígito [1]:
 - a. 1XX.- Mensajes provisionales entre los más conocidos están el mensaje SIP 100 Trying (intentando) y el 180 Ringing (teléfono sonando).
 - b. 2XX.- Utilizado para indicar un estado exitoso, como por ejemplo 200 OK, el cual indica que una llamada ha sido establecida exitosamente o que ha sido finalizada exitosamente.
 - c. 3XX.- Respuesta de redirección, estos mensajes son típicamente respuestas generadas por teléfonos SIP cuando las funcionalidades de redireccionar o no molestar están activadas en las llamadas.
 - d. 4XX.- Utilizadas para indicar un estado final de error en el método.
 - e. 5XX.- Respuesta de fallas del servidor o central telefónica, ejemplo el mensaje SIP 500 (Server Internal Error) que indica que existe un error interno en el servidor

- f. 6XX.- Respuestas de fallas globales, donde el requerimiento no puede ser ejecutado por ningún otro SIP Server.

En la figura 5-4 se muestra la traza SIP típica de una llamada telefónica entre dos usuarios SIP y se puede observar toda la señalización entre el usuario y el servidor SIP o SIP Proxy.

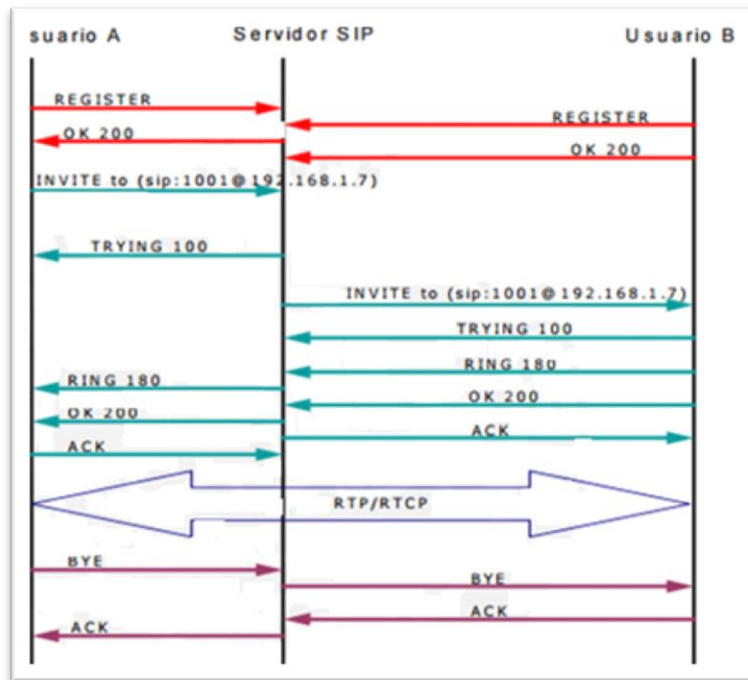


Fig. 5-4 Intercambio de mensajes SIP en una llamada telefónica.

Las dos primeras transacciones tienen que ver con el registro de usuarios SIP hacia el servidor SIP, en el presente caso de estudio como servidor SIP funcionará la central telefónica que estará en la casa del usuario.

El siguiente mensaje que se envía es del usuario A el cual envía el mensaje INVITE al usuario B a través del servidor SIP, este mensaje solicita la petición de llamada, una vez la sesión se establece ambos puntos mandan la confirmación con el mensaje SIP 200 de OK.

Cuando la sesión se ha establecido, entra a funcionar el protocolo de transporte RTP, que es el encargado de transportar la voz mediante el protocolo de la capa transporte UDP ya que es

el comúnmente usado debido a su características de no corrección de errores lo cual permite la transmisión en tiempo real.

Cuando uno de los usuarios desea terminar la comunicación, manda la petición de desconexión mediante el mensaje SIP BYE que el servidor SIP lo re direcciona al otro usuario, luego de este último envía la confirmación, terminando así la sesión.

5.2.2 Protocolo IP

El protocolo IP es parte de la capa de internet del modelo TCP/IP, el cual permite el enrutamiento de datagramas, aunque sin garantizar su entrega ya que no es orientado a conexión y no confirma la recepción de datagrama.

El protocolo IP determina el destinatario del mensaje mediante 3 campos:

- El campo de dirección IP.- Dirección del equipo
- El campo de máscara de subred.- Permite al protocolo diferenciar el campo de red del de campo de host.
- El campo de puerta de enlace.- Este campo permite saber a qué equipo enviar un datagrama, si el equipo no se encuentra en la red de área local.

El protocolo IP define el formato de paquete como datagrama, el cual es la unidad básica de transferencia sobre la red de datos [2].

El datagrama básicamente tiene dos campos, cabecera y datos, los cuales son encapsulados dentro de la trama como se puede observar en la Figura 5-5.

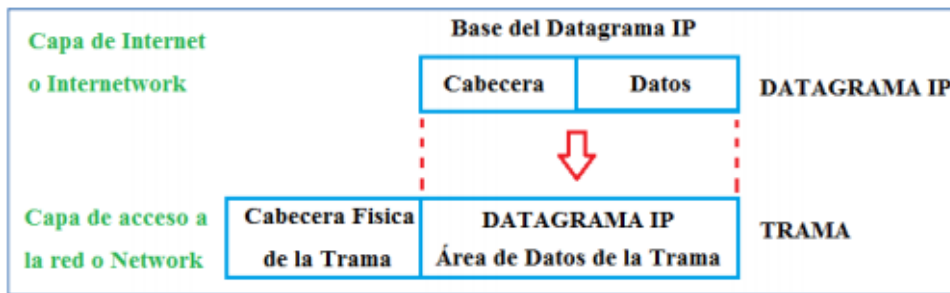


Fig. 5-5 Datagrama IP se encapsula dentro de la Trama

La trama tiene una longitud máxima, dependiendo del tipo de red en la mayoría de red se tiene un Unidad de Transmisión Máxima (MTU) de 1500 bytes.

Las direcciones IP versión 4 están representados por un número de 32 bits que se dividen en 4 octetos de 8 bits cada uno, que expresan números de notación decimal los cuales están comprendido en el rango de 0 a 255. Para diferenciar que parte de la dirección pertenece a la red y que parte pertenece al host, las direcciones se dividen en clases las cuales tienen una porción determina de octetos de red y de host como se presenta en la Tabla 5-1

Clase	1.- Octeto	2.- Octeto	3.- Octeto	4.- Octeto
A	0 RED	HOST	HOST	HOST
B	10 RED	RED	HOST	HOST
C	110 RED	RED	RED	HOST
D	1110 RED	Direcciones multicast o multidifusión		
E	11110 RED	Reservado		

Tabla 5-1 Clasificación en clases a la direcciones IP

Para la configuración de redes de área local y global hay que tener en cuenta que existe dos tipos de direcciones IP, las cuales se detallan:

- Direcciones IP públicas.- Estas direcciones son asignadas por el Inter NIC asegurando que no existan direcciones iguales asignadas a equipos terminales a nivel mundial. Para la asignación de las IP's se hace mediante el uso de identificadores de clase o

CIDR, este sistema se asegura que puedan programar rutas a través del internet para comunicar distintos equipos conectados en la red.

- Direcciones IP privadas.- Los equipos que no necesitan una conexión directa al internet son asignados dentro de un rango de IP's conocidos como privadas, que pueden ser configuradas dentro de cualquier red de área local sin problema de duplicación ya que para la salida al internet utilizan el protocolo NAT que permite convertir un IP privada en una IP pública [2].

En la tabla 5-2 se indica el uso que tienen los diferentes bloques de direcciones IP versión 4.

Clases	Primera dirección	Última dirección	Uso	Número de direcciones
A	0.0.0.0	0.255.255.255	Reservado	16.777.216
	1.0.0.0	9.255.255.255	Direcciones públicas	150.994.944
	10.0.0.0	10.255.255.255	Direcciones privadas	16.777.216
	11.0.0.0	126.255.255.255	Direcciones públicas	1.946.157.056
	127.0.0.0	127.255.255.255	Reservada	16.777.216
B	128.0.0.0	169.253.255.255	Direcciones públicas	721.289.216
	169.254.0.0	169.254.255.255	Reservado	65.536
	169.255.0.0	171.15.255.255	Direcciones públicas	17.891.328
	172.16.0.0	172.31.255.255	Direcciones privadas	1.048.576
	172.32.0.0	191.255.255.255	Direcciones públicas	333.447.168
C	192.0.0.0	192.167.255.255	Direcciones públicas	11.010.048
	192.168.0.0	192.168.255.255	Direcciones privadas	65.536
	192.169.0.0	223.255.255.255	Direcciones públicas	525.795.328
D	224.0.0.0	239.255.255.255	Direcciones de multidifusión	268.435.456
E	240.0.0.0	255.255.255.255	Direcciones reservadas	268.435.256
			Total públicas	3.706.585.088
			Total privadas	17.891.328
			Total reservadas	570.490.880
			TOTAL	4.294.967.296

Tabla 5-2 Uso de los diferentes rangos de direccionamiento IPv4

El servidor SIP como los equipos terminales de telefonía (Gateway de voz, teléfono IP, Softphone en PC o celular móvil) van a conectarse entre sí mediante la IP pública de cada dispositivo para establecer las llamadas y luego el envío de tráfico de voz.

A continuación se va a estudiar los protocolos de transporte TCP Y UDP los cuales son utilizados en este caso de estudio para la señalización y el envío de tráfico RTP respectivamente.

5.2.3 Protocolo TCP

El protocolo IP no garantiza que los datos lleguen a su destino ya que solo hace su mejor esfuerzo para que llegue la información; es necesario utilizar un protocolo que se encargue de controlar la transmisión de los datos y por eso se creó el Protocolo de Control de Transmisión TCP [3].

El protocolo TCP ayuda a controlar los datos transmitidos para que estén libres de errores y sean recibidos por las aplicaciones en el mismo orden en que fueron enviados, en el caso donde se pierden los datos en el camino se introducen mecanismos para que estos datos sean retransmitidos hacia el destino.

Como TCP realiza detección y corrección de errores en la transmisión implica, que hay una carga adicional en los paquetes por ende va a enviar información adicional de control, por tal razón no es un buen protocolo de comunicación para transportar información en tiempo real, como voz y video, pero en cambio, sí juega un rol importante para registrar o para la señalización SIP entre las terminales, debido a que los servidores por defecto utilizan el puerto 5060 en TCP y UDP para recibir las peticiones de los clientes SIP.

5.2.4 Protocolo UDP

UDP es un protocolo de capa transporte y es utilizado para el envío de datagramas, la diferencia en este protocolo radica, que no es orientado a conexión por tal razón no le importa si los datos llegan sin errores y en el orden que fue enviado.

El protocolo UDP no añade información extra en los paquetes para control de errores, no realiza retransmisión las cuales son innecesarias en comunicaciones en tiempo real como son transmisiones de voz y video. Para la VoIP es un protocolo ideal, ya que la voz se transporta en forma más rápida, si utilizaríamos el protocolo TCP [4].

Para transportar un mensaje de un terminal a otro, UDP utiliza el protocolo de internet IP como se puede observar en la Figura 5.6

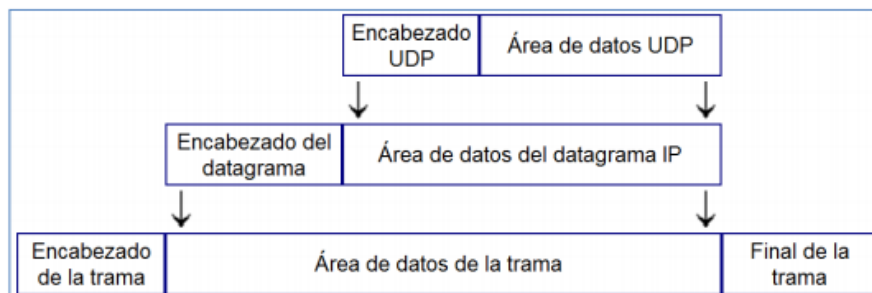


Fig. 5-6 UDP utiliza al protocolo IP para la comunicación

Para poder distinguir entre los muchos aplicaciones que se ejecutan al mismo tiempo, UDP proporciona un puerto conjuntamente con los datos, incorporando en el datagrama el número de puerto origen y el número de puerto destino, como se puede observar en la Figura 5-7, como estándar para tráfico RTP en Asterisk utiliza los puertos entre 10000 al 20000, los cuales son entregados dinámicamente por el Servidor SIP.

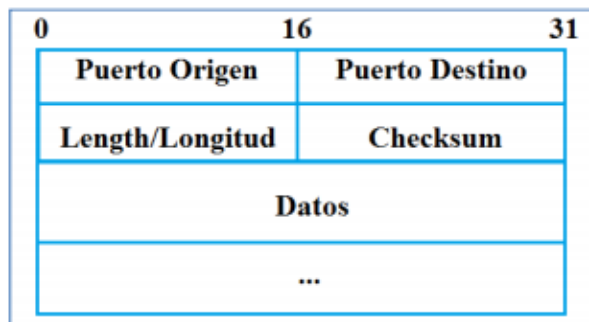


Fig. 5-7 Formato del segmento UDP

A continuación se detalla los campos principales de segmento UDP [5]:

- Puerto UDP de origen.- Son 16 bits e indica el número de puerto del terminal del origen.
- Puerto UDP de destino.- Son 16 bits e indica el número de puerto del terminal del equipo destino
- Longitud del mensaje UDP.- Son 16 bits que detallan la longitud medida en bytes del mensaje UDP.
- Checksum.- Son 16 bits y se utiliza cuando una trama es recibida y tiene una secuencia de verificación incorrecta,
- Datos.- Son los datos que se envía en la aplicación

5.2.5 Protocolo RTP y RTCP

El protocolo RTP es el más utilizado para transportar media voz y video sobre cualquier red de datos y es independiente del protocolo, que se está utilizando para el establecimiento de las llamadas.

La principal función de protocolo RTP es llevar la voz o video codificado mediante la utilización del protocolo de la capa transporte UDP. Para que los datos enviados lleguen a su origen en el orden que fueron enviados existen dos campos en la cabecera del formato RTP que son importante, los cuales se describe a continuación [6]:

- Etiqueta de Tiempo (Timestamp).- Este campo mide el tiempo en unidades de 125 us, con esto el receptor tiene la capacidad de saber en que instante se va a reproducir el audio recibido.
- Numero de secuencia (Sequence Number).- Este campo identifica la posición del paquete y va incrementando en una unidad por cada paquete RTP enviado, se utiliza para detectar paquetes perdidos y para restaurar el orden de los paquetes como puede observar en la Figura 5-8.

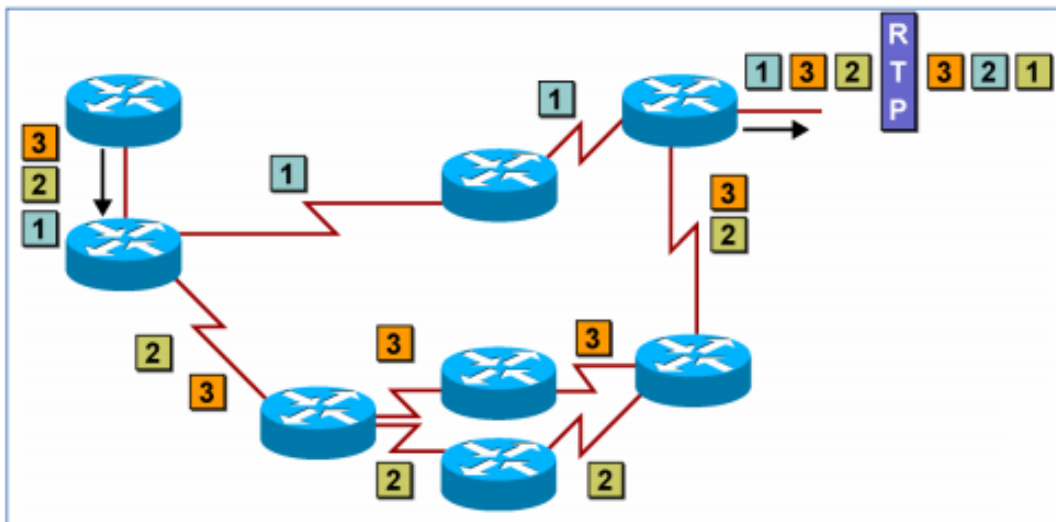


Fig. 5-8 RTP restaura el orden de los paquetes enviados.

RTP Control Protocol (RTCP) es un protocolo de comunicación, que proporciona información de control y está asociado al tráfico RTP.

Cuando RTP lleva los datos en tiempo real, el protocolo RTCP se encarga de monitorear las estadísticas de transmisión y calidad de servicio, como jitter, paquetes recibidos, enviados, perdidos, entre otros, informando a los terminales que intervienen en la comunicación.

5.2.6 Codecs

Los codecs se encargan de la codificación y decodificación de las señales o flujos de datos digitales; su función principal es adaptar la información digital mediante la compresión de voz o video, de tal manera que utilice el menor ancho de banda posible y así ahorrar recursos.

A continuación se detallan algunos codecs soportados para telefonía IP:

- G711.- Este códec tiene una tasa de transmisión de 64 kbps, fue desarrollado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y actualmente es el códec nativo en las redes telefónicas modernas.

El códec G711 también llamado PCM tiene una tasa de muestreo de 8000 veces por segundo, lo que le permite un ancho de banda total para la voz de 4000 Hz. Cada muestreo se codifica en 8 bits para tener una tasa de transmisión total de 64 kbps. Para G711 existen dos versiones la Ley-A (A-law) y Ley-u (u-law), esta última es utilizada en Estados Unidos y Japón mientras que la primera se utiliza para el resto del mundo incluido Latinoamérica.

- G729.- Para su utilización de este códec la mayoría de usuarios necesitan el otorgamiento de una licencia, para lo cual tienen que realizar un pago.

La ventaja de la utilización del códec G729 radica en la alta compresión de la voz, debido a esto se tiene bajo consumo de ancho de banda, con lo cual se ahorra en recursos.

Pese a su alta compresión no hay un deterioro significativo de la voz, por esta razón este códec es definido como prioritario en los diferentes proveedores de servicio de telefonía IP.

G729 tiene una tasa de transmisión 8 kbps si le comparamos con el códec G711 el ahorro del ancho de banda sería de 8 veces menor.

- GSM.- La ventaja de utilizar este códec es la compresión del audio que utiliza una tasa de transmisión de 13 kbps y viene habilitado en la mayoría de los fabricantes incluyendo Asterisk en las distribuciones Elastix y FreePBX.
- iLBC.- Puede llegar a ofrecer niveles de calidad superiores al códec G729 y tiene la ventaja que su uso es libre, incluso es posible modificar el código.

Si el dispositivo lo permite, sin duda es una gran opción utilizar este códec.

La tasa de transferencia es de 13,3 kbps, equivalente a GSM pero con mayor calidad.

En la tabla 5-3 se puede observar un cuadro comparativo de los codecs antes descritos [7].

Códec	Tasa de transmisión	Intervalo de muestra	Ancho de banda total
G.711ulw	64 Kbps	10 msec	87 kbps
G.711 alw	64 Kbps	10 msec	187 kbps
G.729	8 Kbps	25 msec	31 kbps
GSM	13 Kbps	20 msec	29 kbps
iLBC	13,3 Kbps	30 msec	31 kbps

Tabla 5-3 Comparación de codecs de telefonía IP

5.3 Asterisk

Asterisk es una central telefónica por software que puede ser ejecutado sobre cualquier ordenador estándar siempre y cuando cumpla con los requerimientos básicos de procesamiento y almacenamiento. Este software está basado en el concepto de software libre, lo que le convierte en una aplicación sin restricciones para su ejecución, además de ser una aplicación multiplataforma, donde su plataforma nativa es Linux.

Asterisk fue creado por Mark Spencer y actualmente su principal desarrollador es Digium².

² Digium.- Es una compañía tecnológica de capital privado que se especializa en desarrollo y fabricación de hardware y software de comunicaciones y telefonía, principalmente la plataforma de telefonía de código abierto Asterisk.

La gran diferencia entre Asterisk y otros software propietarios, es que debido a su estructura modular y su flexibilidad no tiene restricción en cuanto a la forma de acoplarse e incorporar otras tecnologías.

5.3.1 Distribuciones de Asterisk

Normalmente las distribuciones de Asterisk tienen las dependencias fundamentales del mismo: una administración Web, una compleja base de datos y un conjunto de instrucciones para que se pueda realizar cambios en la configuración de la central telefónica

A continuación se detalla algunas distribuciones de Asterisk disponible en el mercado:

- Trixbox
- Elastix
- FreePBX
- AsteriskNOW

5.3.2 Beneficios de Asterisk

A continuación se detallan algunos de los beneficios de utilizar Asterisk como central telefónica:

- A nivel de interoperabilidad y flexibilidad Asterisk tiene la ventaja de soportar una gran cantidad de estándares telefónicos tanto analógicos como para IP, lo que permite una amplia posibilidad de interacción con otros sistemas.
- Utiliza un hardware genérico, lo que permite no depender de un único fabricante de hardware.
- Reducción de costos, esto no se refiere a la adquisición de la licencia ya que es código abierto, sino también a la fácil de interconexión entre plataformas de red sin grandes inversiones.

- Asterisk ofrece una variedad de servicios inclusive mayor a la que muchos otros programas propietarios.
- A nivel de escalabilidad, el sistema permite la posibilidad de conectar cada central telefónica Asterisk con otras, lo que permite implementar cualquier topología de red.

5.3.3 Funciones Básicas

Asterisk puede funcionar como cualquier central telefónica e incorpora todas sus funcionalidades.

A continuación se detallan algunas de sus funciones básicas de la plataforma Asterisk:

- Conexión con líneas de telefonía analógica, mediante interfaces de tipo analógico FXO³ para líneas de telefónicas fijo y RDSI (BRI⁴ o PRI⁵).
- Soporte de líneas (Truks) IP: SIP, H323 o IAX
- Soporte de extensiones IP: SIP, SCCP, MGCP, H323 o IAX.
- Música en espera basada en archivos MP3 y similar.
- Funciones básicas de los usuarios:
 - Transferencias de llamadas
 - Desvíos de llamadas
 - Conferencia múltiple
 - Aparcamiento de llamadas
 - Llamada directa a extensión (DID)
 - Retrollamada
 - Paging (Megafonía a través del altavoz del teléfono)

³ FXO.- (Foreign Exchange Office) es un dispositivo de computador que permite conectar éste a la PSTN, y mediante un software especial, realizar y recibir llamadas de teléfono.

⁴ BRI.- El acceso básico, conocido también por la sigla inglesa BRI (basic rate interface), consiste en dos canales B full-duplex de 64 kbit/s y un canal D full-duplex de 16 kbit/s

⁵ PRI.- El acceso primario, también conocido por la sigla inglesa PRI (primary rate interface) está destinado a usuarios con requisitos de capacidad mayores, tales como oficinas, empresas con PBX digital o red de área local

5.3.4 Funciones Avanzadas

Asterisk incorpora funciones avanzadas que en otros sistemas propietarios tendrían un coste elevado. Entre los más relevantes que trae están:

- Buzón de Voz.- Sistemas de contestador automático personalizado por usuario
- Correo Electrónico.- Se puede realizar la creación de correo electrónico por usuario para la recepción de mensajes.
- Sistema de audio conferencia.- Permite la conexión remota de diferentes usuarios, que quieren mantener una reunión virtual y suministra la correcta gestión y control de los usuarios incorporados.
- IVR.- Sistema automatizado de respuesta, que permite redirigir las llamadas entrantes en función de las opciones seleccionadas por el usuario que llama.
- Informe detallado de llamadas (CDR).- Es el detalle de llamadas realizadas y recibidas por extensión para determinar los costes por usuario, departamentales, por cliente o incluso para facturación.
- ACD.- Sistema automático de distribución de llamadas entrantes, pensado para central de llamadas, atención comercial o soporte técnico.

5.3.5 Distribución FreePBX

FreePBX es la interfaz gráfica por defecto para Asterisk. La interfaz web de FreePBX es orientada al usuario y es muy intuitivo, lo que simplifica el trabajo de configuración básica de Asterisk permitiendo a los administradores de redes la fácil creación de usuarios, troncales, extensiones y otros puntos fundamentales de la configuración de Asterisk.

A continuación se muestra algunas de sus ventajas [8]:

- Prácticamente es considerada la interfaz web estándar de Asterisk.
- Fácil instalación y puesta en marcha.

- Rapidez de configuración.
- La mayoría de las distribuciones open source disponibles hacen uso de esta interfaz.

5.4 Equipamiento a utilizar

5.4.1 Raspberry Pi 2 Modelo B

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida de bajo costo, desarrollada en Reino Unido cuyo propósito inicialmente era orientado para la educación, entre su principales características y puntos a considerar es que necesita un SD para poder iniciar el sistema, no tiene un interruptor de encendido y apagado, la memoria RAM no es removible ni intercambiable y no soporta PoE (Power over Ethernet).

En la tabla 5-4 se muestra un resumen con las principales características de los primeros Raspberry Pi conocidos como de primera generación [9].

Descripción	<i>ModeloA</i>	<i>ModeloB</i>
CPU	ARM1176JZF-S a 700MHz	ARM1176JZF-S a 700MHz
GPU	Videocore 4	Videocore 4
RAM	256MB	512MB
Memoria	Puerto SD	Puerto SD
Puertos USB	1	2
Salida de Video	RCA y HDMI	RCA y HDMI
Salida de Sonido	Jack de 3.5mm y HDMI	Jack de 3.5mm y HDMI
Red Local	No disponible	Ethernet 10/100 (RJ45)
Consumo (típico)	300mA	700mA
Alimentación	5V - puerto MicroUSB	5V - puerto MicroUSB
Dimensiones	85.60mm x 56mm x 21mm	85.60mm x 56mm x 21mm
Sistema operativo	Fedora, Debian y ArchLinux	Fedora, Debian y ArchLinux

Tabla 5-4 Características de Raspberry Pi 1

Raspberry Pi 2 modelo B es una arquitectura más potente que sus predecesores ya que tiene una placa base ARM⁶ Quad-Core de 900 MHz propietaria de Raspberry Pi lo cual hace 6 veces más potente, adicionalmente tiene una memoria RAM de 1 GB, 4 x USB, un puerto

⁶ ARM (Advanced RISC Machine).- es una arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer) de 32 bits y de 64 Bits desarrollada por ARM Holdings y es el conjunto de instrucciones más ampliamente utilizado en unidades producidas.

HDMI y un puerto RJ-45, por lo tanto es un equipo funcional para aplicaciones que no necesitan un alto procesamiento.

La simplicidad que se tiene con los procesadores ARM hace ideal para aplicaciones de baja potencia [10], en nuestro caso de estudio es suficiente para la implementación como central telefónica en el hogar, reduciendo el costo considerablemente.

En la figura 5-9 se muestra la placa del Raspberry Pi 2 modelo B



Fig. 5-9 Placa del Raspberry Pi 2 modelo B

En la tabla 5-5 se muestra las características que tiene el Raspberry Pi 2 modelo B

	Raspberry Pi 2 Modelo B
SoC	Broadcom BCM2836 (CPU + GPU + DSP + SDRAM + puerto USB)
CPU:	900 MHz quad-core ARM Cortex A7
Juego de instrucciones:	RISC de 32 bits
GPU:	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, MPEG-2 y VC-1 (con licencia) 1080p30 H.264/MPEG-4 AVC
Memoria (SDRAM):	1 GB (compartidos con la GPU)
Puertos USB 2.0	4
Entradas de vídeo:	Conector MIPI CSI que permite instalar un módulo de cámara desarrollado por la RPF
Salidas de vídeo:	Conector RCA (PAL y NTSC), HDMI, Interfaz DSI para panel LCD
Salidas de audio:	Conector de 3.5 mm, HDMI
Almacenamiento integrado:	MicroSD
Conectividad de red:	10/100 Ethernet (RJ-45) via hub USB
Periféricos de bajo nivel:	17 x GPIO y un bus HAT ID
Reloj en tiempo real:	Ninguno
Consumo energético:	800 mA, (4.0 W)

Fuente de alimentación:5	5 V vía Micro USB o GPIO header
Dimensiones:	85.60mm × 53.98mm65 (3.370 × 2.125 inch)
Sistemas operativos soportados:	GNU/Linux: Debian (Raspbian), Fedora (Pidora), Arch Linux (Arch Linux ARM), Slackware Linux.

Tabla 5-5 Características del Raspberry Pi 2 modelo B

5.4.2 Adaptador ATA VoIP Grandstream HT702

Un adaptador ATA es un dispositivo que transforma la telefonía analógica convencional en telefonía IP, este dispositivo permite utilizar un teléfono convencional para realizar llamadas a través de un red IP.

El equipo ATA tiene funciones de Agente de Usuario (UA) ya que se registran en un SIP server y generan la señalización SIP necesaria para el establecimiento de llamadas IP, disponen además de un circuito electrónico para que la información pueda ser transmitida en una red de datos IP convirtiendo la señal analógica del teléfono convencional en digital mediante la utilización de un Códec.

Los circuitos electrónicos de los adaptadores ATA son similares a los de los teléfonos IP, este equipo viene con un pequeño procesador donde tiene el sistema operativo y un servidor web para realizar las configuraciones de equipo. En la figura 5-10 se muestra el esquema básico de conexión.



Fig. 5-10 Esquema básico de conexión de un equipo ATA

Para el presente caso de estudio se va a utilizar el adaptador ATA VoIP Grandstream HT702 (Fig. 5-11) que es un equipo de nueva generación de ATA IP para los usuarios residenciales y pequeñas empresas.

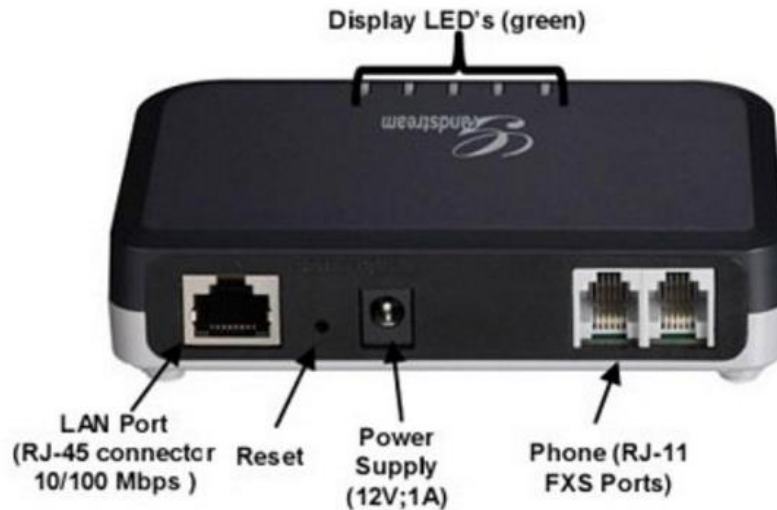


Fig. 5-11 ATA VoIP Grandstream Ht702

Su tamaño compacto, excelente calidad de voz, completas funcionalidades telefónicas, protección de alta seguridad y excelente aprovisionamiento, permite tener servicios VoIP de alta calidad a un precio extremadamente cómodo.

A continuación detallan sus características técnicas:

- 2 puertos FXS
- 1 LAN puerto Ethernet 10/100M
- LED de estado (Power, Internet, LINK/ACT, and Phone status)
- Funciones avanzadas de telefonía, incluyendo identificador de llamadas, llamada en espera, conferencia de 3 vías, transferencia, no molestar, indicación de mensaje en espera, mensaje de voz multi-idioma, fax T.38, plan de marcación flexible.
- Códecs de voz G.711 anexo I/II, G.723.1, G.729 A/B, G.726, iLBC
- Seguridad voz/datos mediante TLS/SRTP/HTTPS,

- Aprovisionamiento seguro y automatizado con TR069 y HTTP/HTTPS/TFTP

5.4.3 Ordenadores y teléfonos móviles

Para permitir a los usuarios de PC y teléfonos móviles disfrutar de comunicaciones IP de forma dinámica se necesita la utilización de un software cliente que permita hacer y recibir llamadas VoIP, este software es conocido como Softphone el cual se instala en el dispositivo que se desea esté conectado.

Para este proyecto se utiliza el Softphone ZOIPER que es un software multiplataforma (funciona en ordenadores con Windows, Linux o MAC OS X, teléfonos con Android, o teléfonos iPhone de Apple), diseñado para trabajar con sus sistemas de comunicación IP.

Este software es de la compañía Zoiper y tiene una versión no comercial, de la misma manera también tiene las versiones comerciales con soporte del software y más características habilitadas.



Fig. 5-12 Zoiper para PC

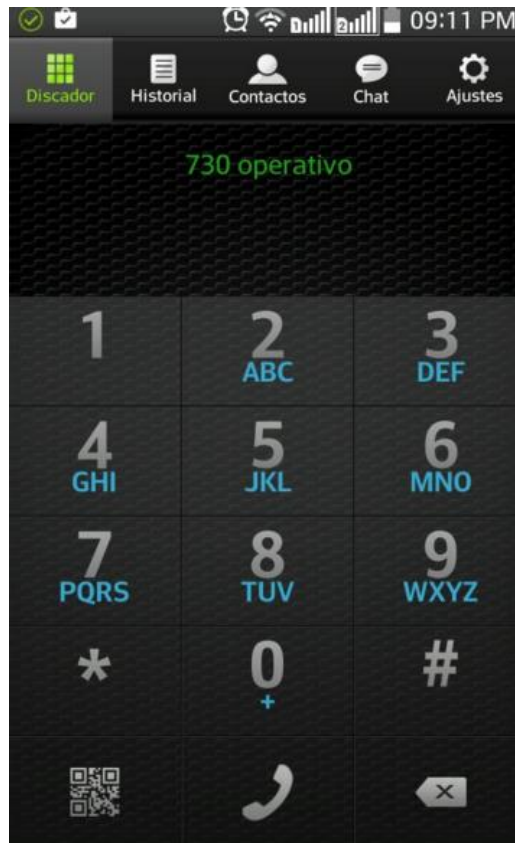


Fig. 5-13 Zoiper para Celular

Las características claves de Zoiper incluyen:

- Uso bajo de la batería con la mayor fiabilidad
- Latencia baja para comunicaciones confiables
- Excelente calidad de audio, incluso en dispositivos antiguos
- Soporta llamadas a través de 3G, LTE y WiFi
- Multiprotocolo con SIP y IAX, compatible con cualquier PBX
- Integración marcador nativo
- Integración con la lista de contactos de Android nativo
- Altavoz, mute y mantenga
- Transporte UDP y TCP seleccionable
- Soporta los codecs G711 (ulaw, alaw), speex, iLBC y GSM
- Soporta el envío de tonos DTMF

- Función de cancelación de eco - Soporte STUN
- Cambiar el tono de llamada por cada cuenta
- Llamada en espera

5.5 Diseño de la central telefónica para el Hogar

En la figura 5-14 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 5102 (Propiedad del proveedor de servicio de internet)
- ATA Grandstream Ht702
- Teléfonos móviles
- Laptop y ordenadores

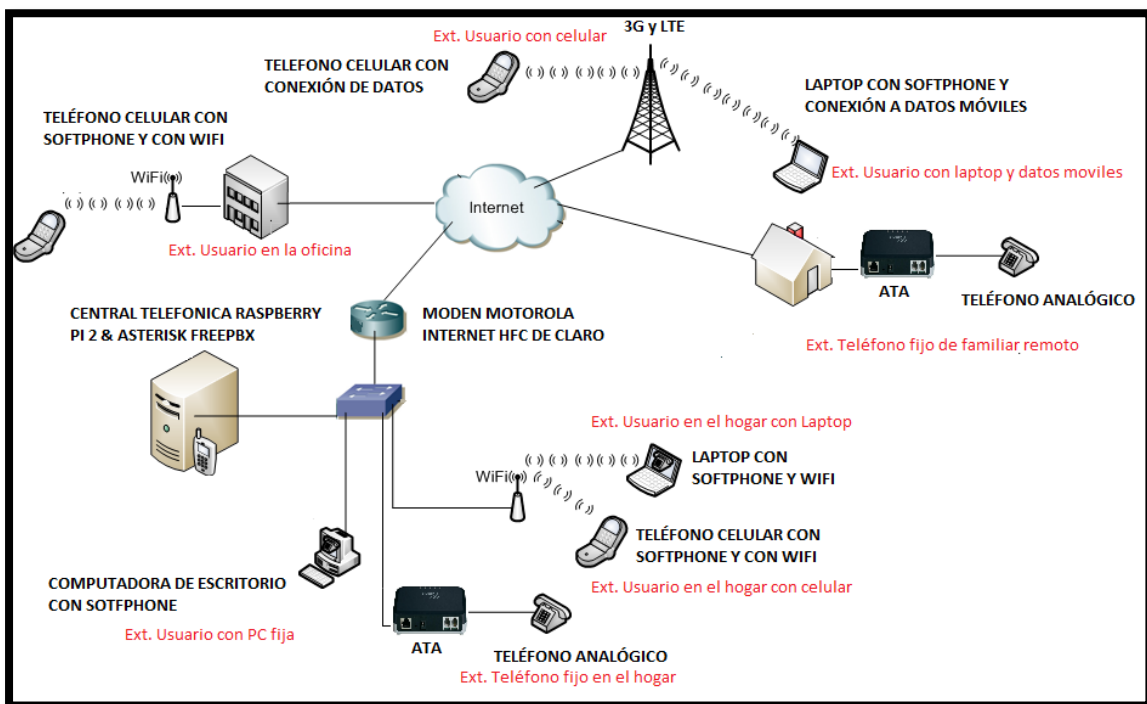


Fig. 5-14 Diagrama de red donde consta la central telefónica para el hogar.

La central telefónica constituye uno de los parámetros principales del diseño y del caso de estudio, 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 ancho de banda tiene que ser el necesario 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.

5.5.1 Llamadas simultáneas con Raspberry Pi 2 modelo B y Asterisk

Para el diseño se tomó las recomendaciones de Digum [11], 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 5-6 se puede observar los requerimientos mínimos de hardware.

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

Tabla 5-6 Requerimiento mínimos de hardware recomendados por Asterisk

En cuanto a las capacidades de Raspberry Pi 2 comparadas con las de la tabla 5-6 es importantes hacer algunas observaciones:

- Los procesadores indicados en la tabla son arquitectura x86 y el procesador de Raspberry Pi 2 es arquitectura ARM, la diferencia entre las 2 arquitecturas es que los procesadores x86 son basados en una arquitectura CISC (Complex Instruction Set Computing), lo que significa que son diseñados para instrucciones complejas, simultaneas y de ejecución lenta, en cambio los procesadores ARM son estructura RISC (Reduced Instruction Set Computer) cuyo objetivo es facilitar el paralelismo en la ejecución de instrucción y permite realizar tareas de menor tamaño con procesos más cortos lo que con lleva a disminución de procesamiento.
- Para la memoria y velocidad de procesamiento del Raspberry Pi 2 modelo B de 900 MHz quad-core ARM y 1 GB, es recomendadas para propósito SOHO (10 llamadas simultaneas) y una pequeña empresa de no muchos usuarios.

Con el análisis antes realizado se concluye que el Raspberry Pi 2 cumple con los requerimientos de hardware necesarios para que trabaje como una central telefónica para el hogar, considerando que el número de usuarios no supera el máximo antes indicado de 10 llamadas simultáneas o 20 usuarios.

En la figura 5-15 se puede observar la placa base de Raspberry Pi 2 modelo B.



Fig. 5-15 Placa Base del Raspberry Pi 2 modelo B

En la figura 5-16 se muestra la parte frontal del Raspberry Pi 2 modelo B con su carcasa. Se puede observar los 4 puertos USB y el puerto Ethernet, este último nos permitirá conectarnos hacia el modem Motorola para tener conexión a internet.



Fig. 5-16 Parte frontal del Raspberry Pi 2

5.5.2 Instalación de RasPBX

Como se mencionó anteriormente Raspberry Pi no cuenta con una memoria de almacenamiento interna, debido a esto 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 (Debian⁷ 7 / Wheezy) e incluye:

- Asterisk 11.5.0
- FreePBX 2.11.0.10

En la figura 5-17 se puede observar la memoria micro SD que se utiliza como disco duro donde se instalará la distribución Raspbian de Linux y el paquete RasPBX para la telefonía IP.



Fig. 5-17 Memoria micro SD Kingston de 32 GB

Asterisk es una aplicación multiplataforma, lo que significa que puede ser ejecutada sobre cualquier sistema operativo [11], 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.

⁷ Debian.- es una comunidad conformada por desarrolladores y usuarios, que mantiene un sistema operativo GNU basado en software libre

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. (Ver figura 5-18)

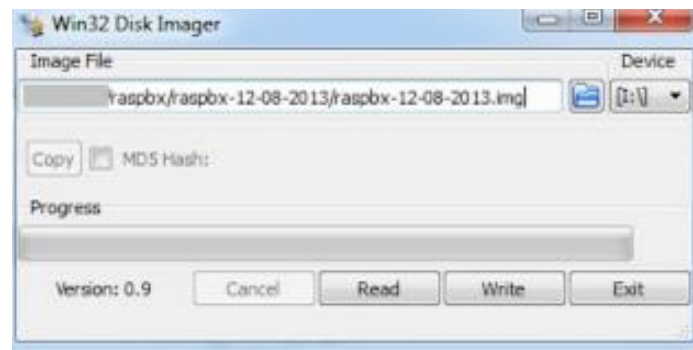


Fig. 5-18 Win32DiskImager para grabar RasPBX en la tarjeta micro SD

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 5-19 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.

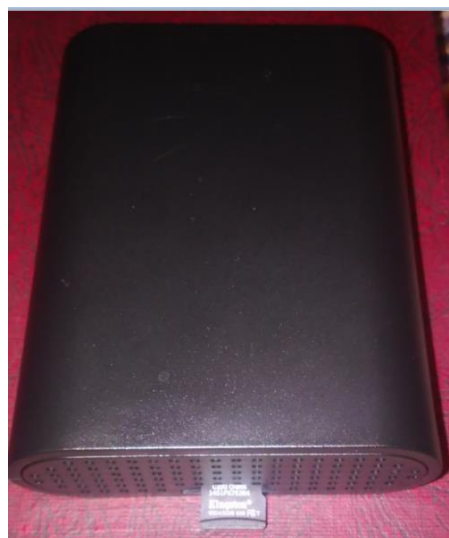
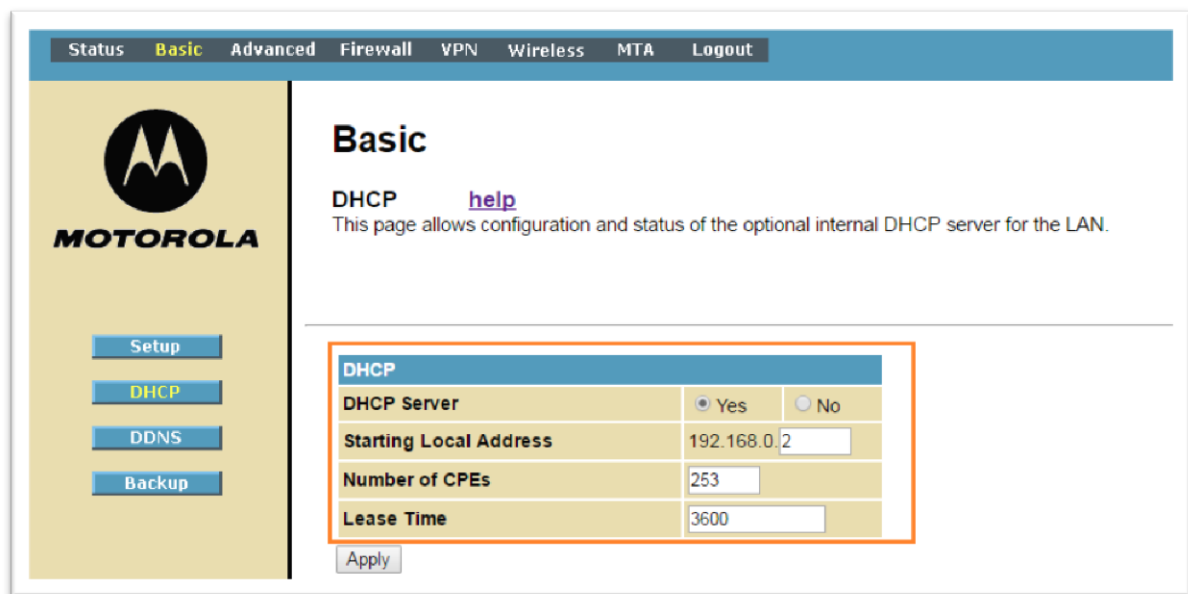


Fig. 5-19 Memoria micro SD en la ranura de Raspberry Pi 2

5.5.3 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, en la figura 5-20 se puede observar la configuración del DHCP del cable modem Motorola.



DHCP	
DHCP Server	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
Starting Local Address	192.168.0.2
Number of CPEs	253
Lease Time	3600

Apply

Fig. 5-20 Configuración DHCP del modem Motorola del proveedor de servicio de internet.

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.

En la figura 5-21 se puede muestra la configuración LAN y WAN del cable modem Motorola SVG1202.

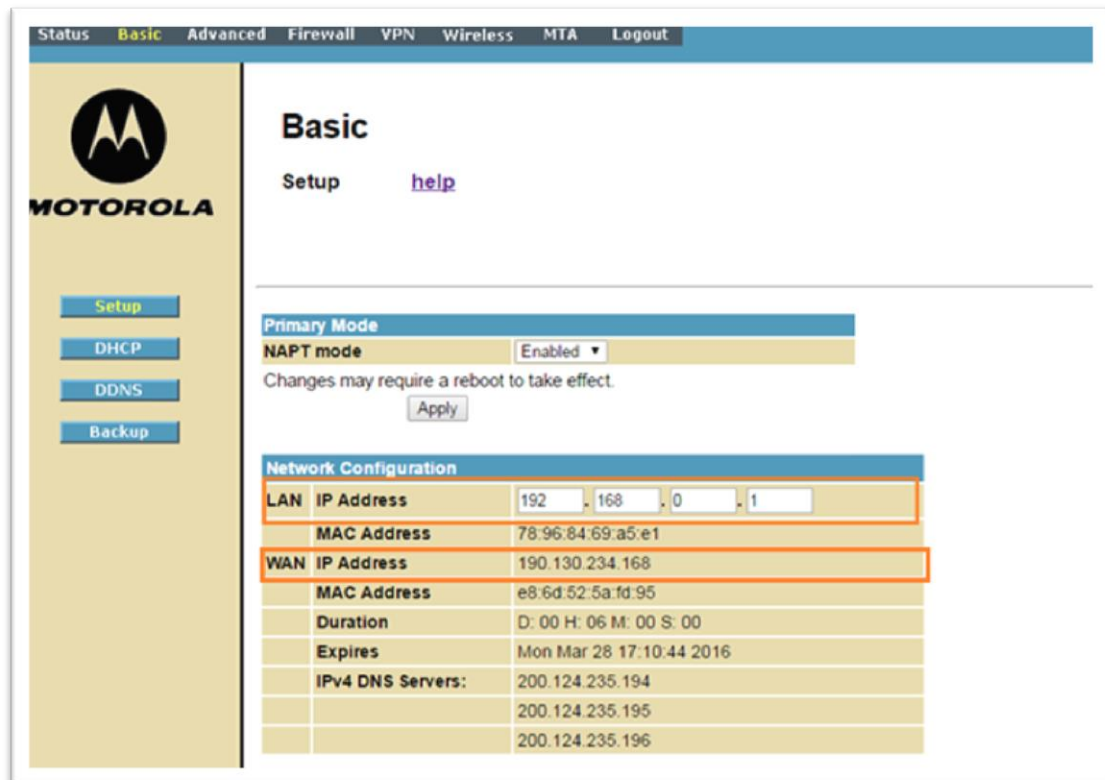


Fig. 5-21 Configuración LAN y WAN de cable modem Motorola del proveedor de servicio de internet

5.5.4 Configuración de red del Raspberry Pi 2 modelo B

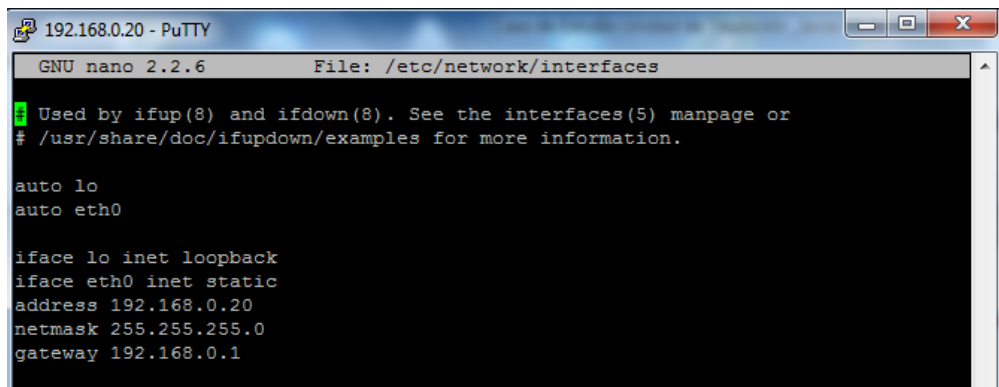
Para configurar por primera vez el equipo Raspberry Pi 2 se debe conectar un teclado USB y un monitor con cable HDMI.

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 5-22 se puede observar la configuración realizada.



```
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.

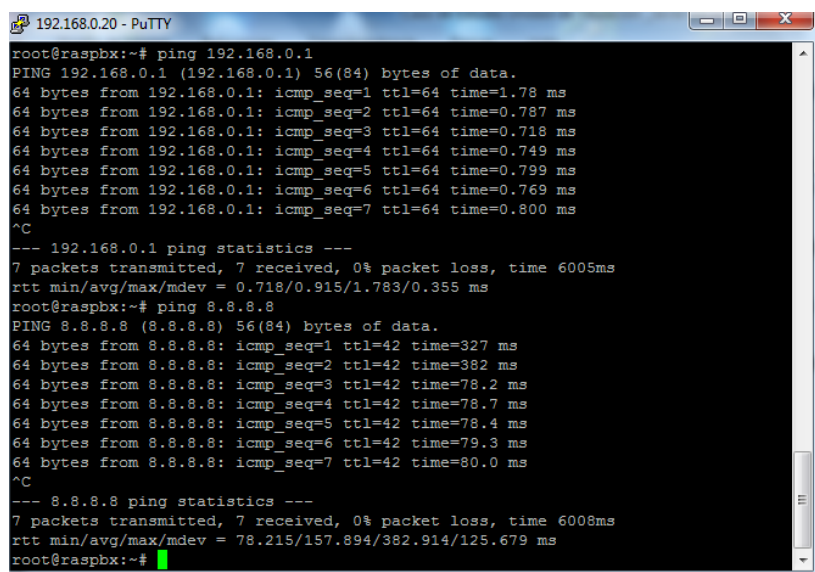
auto lo
auto eth0

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

Fig. 5-22 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.

En la figura 5-23 se presentan las pruebas de conectividad hacia la puerta de enlace del cable modem Motorola y también las pruebas de conectividad hacia los DNS de google desde la central telefónica.



```
192.168.0.20 - PuTTY

root@raspbx:~# ping 192.168.0.1
PING 192.168.0.1 (192.168.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.78 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.787 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.718 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.749 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.799 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.769 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.800 ms
^C
--- 192.168.0.1 ping statistics ---
7 packets transmitted, 7 received, 0% packet loss, time 6005ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.718/0.915/1.783/0.355 ms
root@raspbx:~# ping 8.8.8.8
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=42 time=327 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=42 time=382 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=42 time=78.2 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=42 time=78.7 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=5 ttl=42 time=78.4 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=6 ttl=42 time=79.3 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=7 ttl=42 time=80.0 ms
^C
--- 8.8.8.8 ping statistics ---
7 packets transmitted, 7 received, 0% packet loss, time 6008ms
rtt min/avg/max/mdev = 78.215/157.894/382.914/125.679 ms
root@raspbx:~#
```

Fig. 5-23 Pruebas de ping desde la Central telefónica hacia la puerta de enlace y DNS de Google

5.5.5 Configuración del DNS Dinámico

Los proveedores o ISP⁸ en la mayoría de los enlaces de internet de tipo residenciales configuran para que el router o CPE⁹ 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 [12], 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.

⁸ ISP.- El proveedor de servicios de Internet es la empresa que brinda conexión a Internet a sus clientes. Un ISP conecta a sus usuarios a Internet a través de diferentes tecnologías como DSL, cable módem, GSM, dial-up, etc.

⁹ CPE.- Equipo Local del Cliente es un término de telecomunicaciones usado tanto en interiores como en exteriores para originar, encaminar o terminar una comunicación. El equipo puede proveer una combinación de servicios incluyendo datos, voz, video y un host de aplicaciones multimedia interactivos.

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).

En la figura 5-24 se puede observar la página web www.dnsexit.com donde se crea el sub dominio



Fig. 5-24 Página www.dnsexit.com para crear subdominios gratis

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 5-25 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.

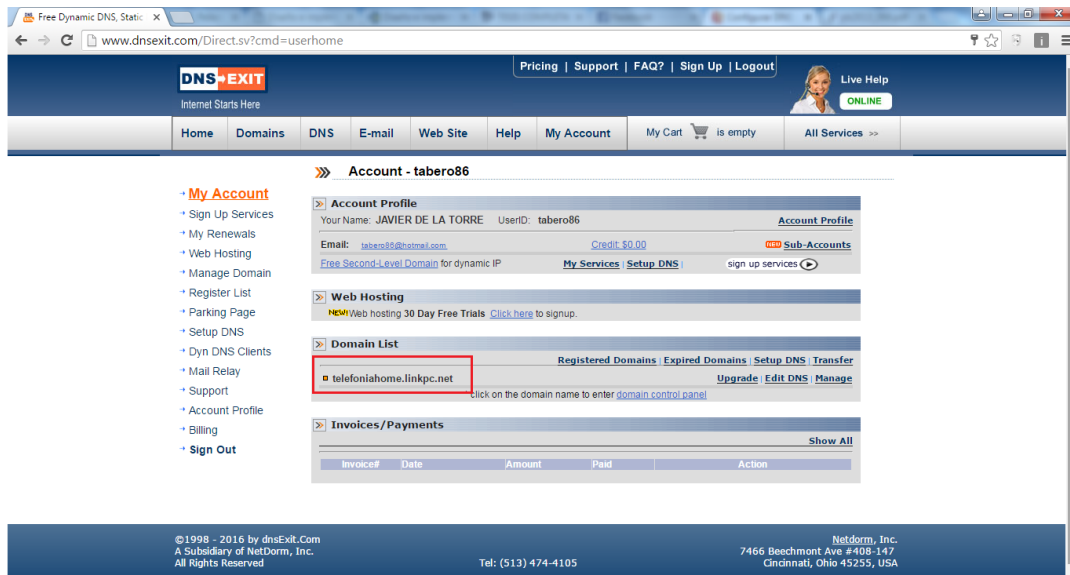


Fig. 5-25 Creación del dominio telefoniahome.linkpc.net el cual va ser el SIP server

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 mencionada 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.

El primer paso es dar Clic en Dyn DNS Clients, luego Clic en ipUpdate-1.70.tar.gz para descargar el programa cliente, este archivo se copia en la central telefónica RasPBX para luego realizar la instalación.

Dynamic DNS Clients - Software, Specifications and Guidelines

To update your DNS, you can always [login](#) to your account and click on **Edit DNS** link next to the domain name to bring up the domain DNS page. To update the changed IP automatically, you should download one of the following dynamic DNS clients and install it on your PC. If you have a router, the IP Client will automatically pick up the router's IP address and update it to our system.

Windows All Platforms
IP Updater Windows (Version 2.0, Vista Compatible) (Free) Released on Nov. 17, 2009: This version is Vista compatible. It runs as Windows service. Please report problems of the software to our support if you have problems with this ipUpdater.

[Download Windows IP Updater 2.0 \(Vista Compatible. Released on Nov. 17, 2009\)](#)

Linux/Unix/MacOSX
IP Update (Version 1.70) (Free) released on July 3, 2013) is **DNSEXIT**'s own dynamic DNS update utility for Linux/Unix. ipUpdate-1.70.tar.gz file should be for all Unix/Linux platforms. The RPM version can work on most Linux platforms. The Debian package is for Debian Linux distribution only.

[ipUpdate-1.70.tar.gz](#) To unzip the file, use command:
 >> tar xzvf ipUpdate-1.6-2.tar.gz
 Refer to dnsexit/doc/README.txt for instructions.

[ipUpdate-1.6-2.noarch.rpm](#) The RPM package that works on most Linux platforms. To install:
 >> rpm -i ipUpdate-1.6-2.noarch.rpm
 >> /usr/sbin/dnsexit-setup.pl # to setup (please choose daemon mode)
 >> /etc/init.d/ipUpdate start # to start the program
 Refer to "file /usr/share/ipUpdate-1.6/doc/README.txt" for instructions.

[ipUpdate-1.6-3.deb](#) The Debian package that works on Debian Linux distribution. To install:
 >> dpkg -i ipUpdate-1.6-2.deb
 >> /usr/sbin/dnsexit-setup.pl # to setup (please choose daemon mode)
 >> /etc/init.d/ipUpdate start # to start the program
 Refer to "file /usr/share/ipUpdate-1.6/doc/README.txt" for instructions.

Descargar cliente DDNS para Elastix

Fig. 5-26 Descarga del cliente DDNS para 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 5-27 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. 5-27 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 5-28)

```
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. 5-28 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 CentralOps.net website interface. The main content area is titled "Domain Dossier" and includes a search bar with "telefoniahome.linkpc.net" entered. Below the search bar, there are several checkboxes for "domain whois record", "DNS records", "traceroute", "network whois record", and "service scan". A "GO" button is visible. The user information shows "user: anonymous [200.124.231.194]" and "balance: 49 units". The "Address lookup" section shows the canonical name as "telefoniahome.linkpc.net." and the IP address as "190.130.234.54". A red arrow points to the IP address, and a text label next to it reads "IP PUBLICA DEL CABLE MODEM MOTOROLA".

Fig. 5-29 Nslookup de la página Central OPS para el dominio telefoniahome.linkpc.net

5.5.6 Configuración DNAT¹⁰ 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.

¹⁰ DNAT.- Si un paquete intenta ingresar a una red interna la cual puede ser privada, para tener conexión a servidor, este puede cambiarse a nivel de IP y hasta de puerto para que exista comunicación esto se le conoce como NAT inverso o DNAT (Destination NAT).

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 5-7 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.

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

Tabla 5-7 Servicios y puertos principales utilizados por FreePBX

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 puerto para el tráfico RTP.

En la figura 5-30 se presenta la configuración del DNAT en el cable modem Motorola SVG1202, donde se abre los puertos TCP Y UDP del 1 al 60000.

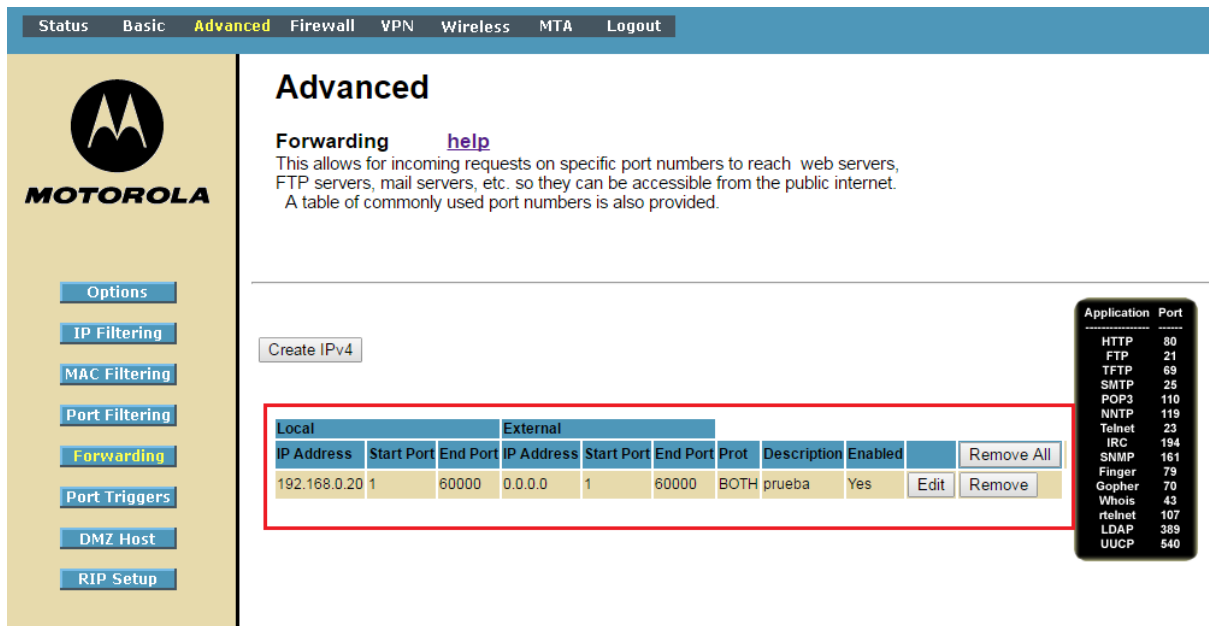


Fig. 5-30 Configuración DNAT en la equipo CPE Motorola

5.5.7 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 5-8 se puede observar en detalle las extensiones SIP de cada miembro del hogar.

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

Tabla 5-8 Descripción de las extensiones

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.

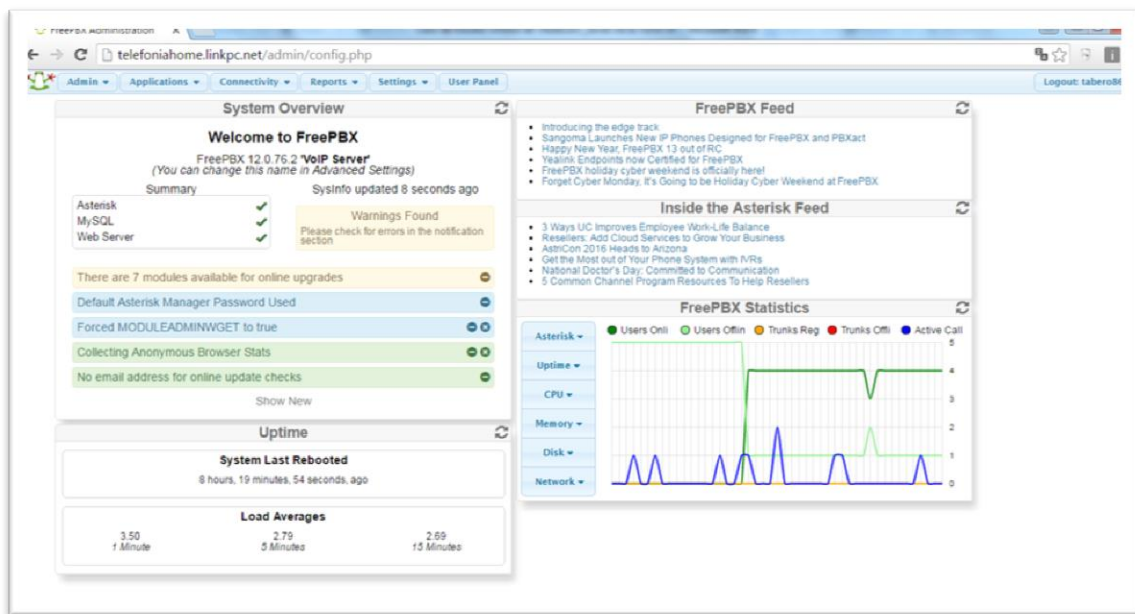


Fig. 5-31 Pantalla principal del FreePBX

Al ingresar a la administración de la central telefónica FreePBX se muestra una interfaz web con todas las especificaciones y características que posee el equipo, entre ellas destacan [13]:

- Usuarios en línea
- Uptime del equipo
- Nivel de memoria
- Nivel de procesamiento del equipo
- Espacio del Disco

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 5-8.

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 5-32 se puede observar los pasos antes detallados.

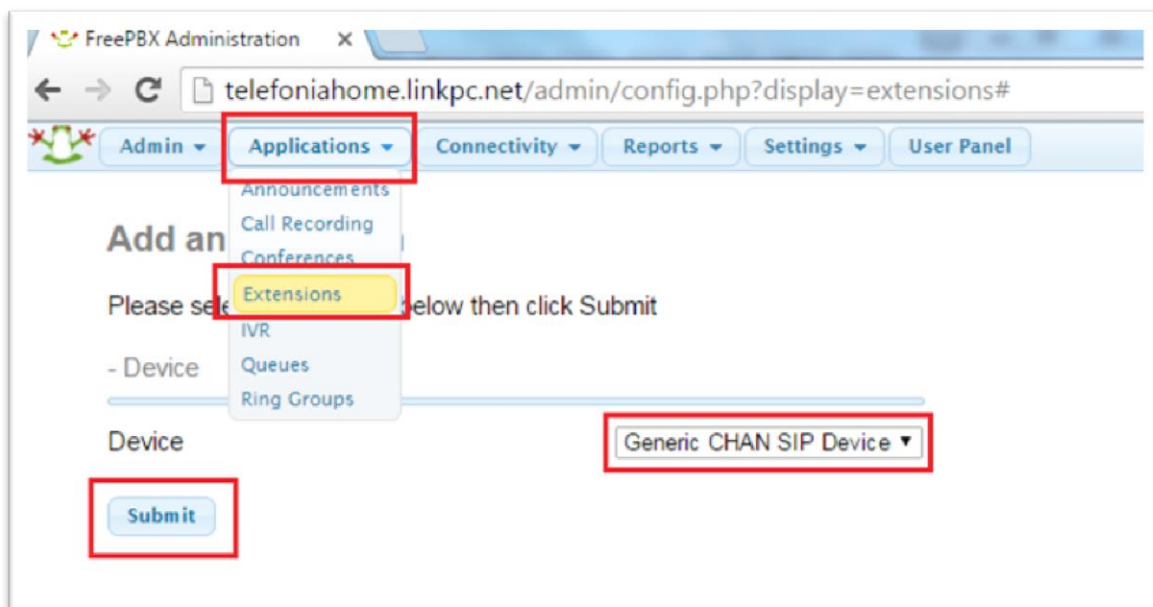


Fig. 5-32 Creación de la extensión

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**

The screenshot shows the 'FreePBX Administration' web interface. The browser address bar displays 'telefoniahome.linkpc.net/admin/config.php?type=&display:'. The navigation menu includes 'Admin', 'Applications', 'Connectivity', 'Reports', 'Settings', and 'User Panel'. The main content area is titled '- Edit Extension' and contains several sections:

- Display Name:** A text input field containing 'JAVIER CELULAR', highlighted with a red box.
- CID Num Alias:** An empty text input field.
- SIP Alias:** A text input field containing '730'.
- Extension Options:**
 - Queue State Detection:** A dropdown menu set to 'Use State'.
 - Outbound CID:** A text input field containing '730', highlighted with a red box.
 - Asterisk Dial Options:** A dropdown menu set to 'Ttr' with an 'Override' checkbox.
 - Ring Time:** A dropdown menu set to 'Default'.
 - Call Forward Ring Time:** A dropdown menu set to 'Default'.
 - Outbound Concurrency Limit:** A dropdown menu set to '3'.
 - Call Waiting:** A dropdown menu set to 'Enable'.
 - Call Screening:** A dropdown menu set to 'Disable'.
 - Pinless Dialing:** A dropdown menu set to 'Disable'.
 - Emergency CID:** An empty text input field.
- + Assigned DID/CID:** A section header with no data listed.
- Device Options:**
 - A blue box containing the text: 'This device uses CHAN_SIP technology listening on 0.0.0.0:5060'.
 - A button labeled 'Change To CHAN_PJSIP Driver' with a tooltip that says 'Changing SIP Driver unavailable'.
 - Secret:** A text input field containing '730home', highlighted with a red box.

Fig. 5-33 Creación de la extensión 730

Al terminar la creación de todas las extensiones al lado derecho de la pantalla aparecen el nombre y número de la extensión, si a futuro se desea cambiar la configuración únicamente se da clic sobre la que se desea modificar.



Fig. 5-34 Listado de las extensiones creadas

5.5.8 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.

En la figura 5-35 se presenta un ejemplo de la configuración de la extensión en el Softphone Zoiper para la PC donde vamos a configurar los siguientes datos:

- Extensión de usuario
- Contraseña
- Servidor SIP
- Nombre de la extensión

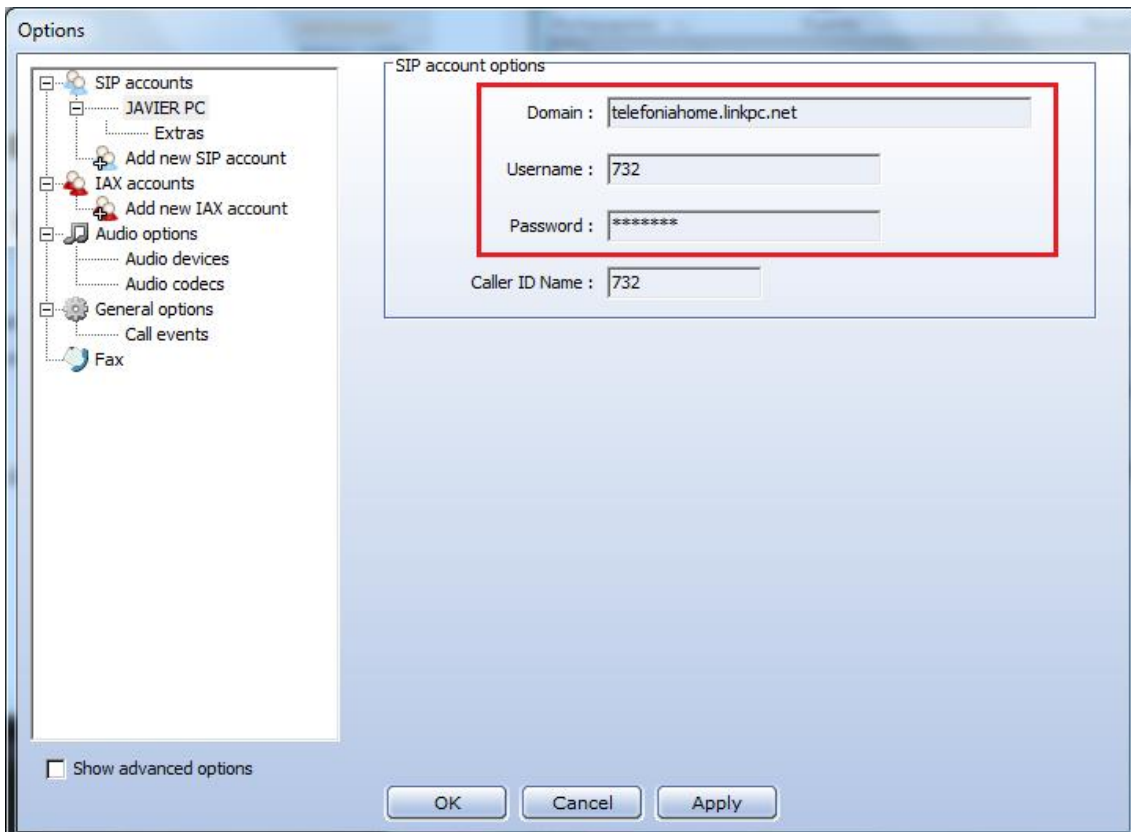


Fig. 5-35 Configuración del Zoiper para PC

Luego se aplica la configuración y el equipo automáticamente se registra en la central telefónica FreePBX y está listo para realizar llamadas telefónicas. (Ver figura 5-36)

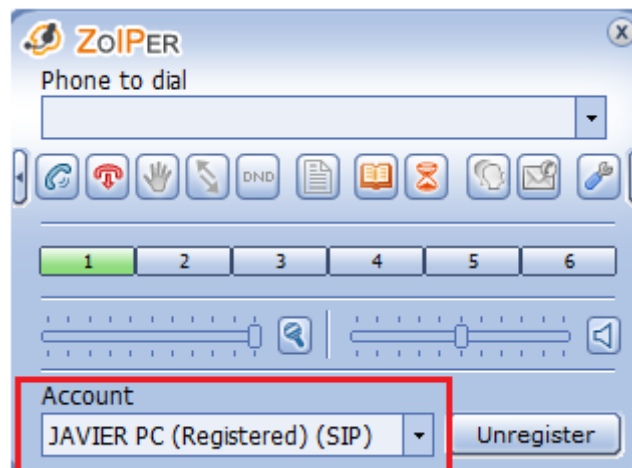


Fig. 5-36 Extensión SIP registrada en el SIP Server

La configuración de Zoiper para celular es muy similar a la que se realizó para un computador.

En la figura 5-37 se puede observar la configuración del Zoiper para celular.

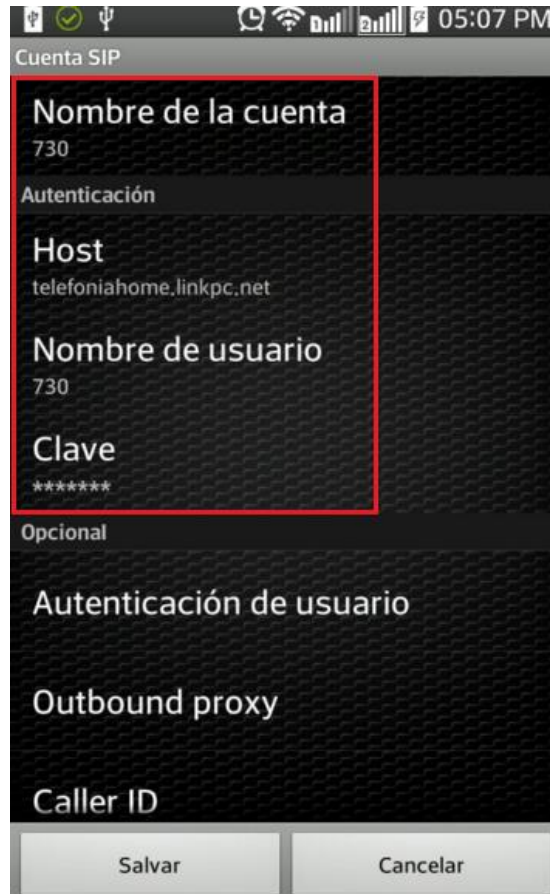


Fig. 5-37 Configuración de una extensión de un usuario con celular

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

5.5.9 Configuración ATA Grandstream HT702

Como ya se mencionó anteriormente al 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 5-38 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 sus 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. 5-38 Equipos ATA Grandstream HT702 y la Central FreePBX conectados a la red LAN de la casa

A continuación se numera los pasos para la configuración del equipo ATA [14]:

1. Se conecta el cable de red al puerto LAN del Grandstream HT702 a un puerto de red del cable modem Motorola.
2. Se conecte el adaptador a la corriente del Grandstream HT702 en una toma eléctrica.

3. Se conecte uno teléfono convencional en un puerto FXS¹¹. (Ver figura 5-39)



Fig. 5-39 Conexión del equipo Grandstream HT702

4. Una vez el equipo esté conectado al cable modem Motorola este le va a dar una IP mediante DHCP y va a tener salida a internet. Luego con el teléfono conectado al puerto Phone 1 marcamos 5 veces la tecla “*”, lo cual hace que el equipo Grandstream HT702 indique que IP tomo.
5. Se digita la IP obtenida con el procedimiento anterior en la barra del navegador de internet y accede a la página de configuración del HT702.
6. Al aparecer la página "Grandstream Device Configuration" se ingresa el password que viene por defecto: admin. (Ver figura 5-40)



Fig. 5-40 Acceso al equipo ATA Grandstream HT702

¹¹ FXS (Foreing Exchange Station).- Es el conector en una central telefónica o en la pared de nuestro hogar, que permite conectar un teléfono analógico estándar.

7. La configuración del equipo ATA contiene los mismos parámetros que se configuró para el Softphone, estos son: SIP server, número de extensión y contraseña, los cuales van a permitir que el equipo se registre en la central telefónica para que pueda realizar y recibir llamadas.

En la figura 5-41 se presenta la configuración SIP del equipo Grandstream HT702.

The screenshot shows the SIP configuration interface for a Grandstream HT702 ATA. The interface has a navigation bar with tabs: STATUS, BASIC SETTINGS, ADVANCED SETTINGS, FXS PORT1, and FXS PORT2. The FXS PORT1 tab is active. The configuration is as follows:

- Account Active: No Yes
- Primary SIP Server: (e.g., sip.mycompany.com, or IP address)
- Failover SIP Server: (Optional, used when primary server no response)
- Prefer Primary SIP Server: No Yes (yes - will register to Primary Server if Failover registration expires)
- Outbound Proxy: (e.g., proxy.myprovider.com, or IP address, if any)
- Allow DHCP Option 120(override SIP server): No Yes
- SIP Transport: UDP TCP TLS (default is UDP)
- NAT Traversal: No Keep-Alive STUN UPnP
- SIP User ID: (the user part of an SIP address)
- Authenticate ID: (can be identical to or different from SIP User ID)
- Authenticate Password: (purposely not displayed for security protection)
- Name: (optional, e.g., John Doe)

Fig. 5-41 Configuración SIP del equipo Grandstream HT702

8. Como último paso se configura el códec principal, en este caso se configuró el códec G711 aluw, debido a sus características de muestreo, hace que la voz digital sea semejante a la voz analógica; adicionalmente se habilita los demás códec para que también pueda negociar con ellos. (Ver figura 5-42)

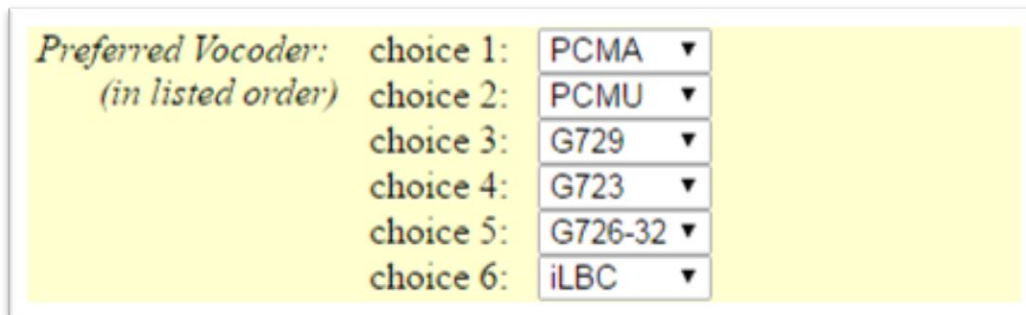


Fig. 5-42 Configuración de los codecs en el equipo Grandstream HT702

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.

5.5.10 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 – y.**

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. 5-43 Extensiones registradas

En la figura 5-44 se puede observar la prueba de marcado desde la extensión 734 (telefonía casa) hacia la extensión 733 (Tayra Celular)



Fig. 5-44 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 [15].

En la figura 5-45 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.

En la figura 5-46 se puede observar la cabecera del mensaje SIP *INVITE* de la llamada realizada desde la extensión 734 hacia la extensión 733.

```
99/ 12.365304000 201.185.141.101 192.168.0.20 SIP/SDP 1144 Request: INVITE sip:733@telefoniahome.linkpc.net |
METHOD: INVITE
  Request-URI: sip:733@telefoniahome.linkpc.net
  [Resent Packet: False]
  Message Header
    Via: SIP/2.0/UDP 192.168.0.21:5060;branch=z9hG4bK2081186294;rport
    Route: <sip:telefoniahome.linkpc.net:5060;lr>
    From: <sip:734@telefoniahome.linkpc.net>;tag=27471718
    To: <sip:733@telefoniahome.linkpc.net>
    Call-ID: 1520163743-5060-6@BJC.BGI.A.CB
    CSeq: 40 INVITE
    Contact: <sip:734@192.168.0.21:5060>
    Max-Forwards: 70
    User-Agent: Grandstream HT702 1.0.7.3
    Privacy: none
    P-Preferred-Identity: <sip:734@telefoniahome.linkpc.net>
    Supported: replaces, path, timer, eventlist
    Allow: INVITE, ACK, OPTIONS, CANCEL, BYE, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, REFER, UPDATE
    Content-Type: application/sdp
    Accept: application/sdp, application/dtmf-relay
    Content-Length: 386
  Message Body
    Session Description Protocol
      Session Description Protocol Version (v): 0
      Owner/Creator, Session Id (o): 734 8000 8000 IN IP4 192.168.0.21
      Session Name (s): SIP Call
      Connection Information (c): IN IP4 192.168.0.21
      Time Description, active time (t): 0 0
      Media Description, name and address (m): audio 5004 RTP/AVP 8 0 18 4 2 97 101
      Media Attribute (a): sendrecv
      Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000
      Media Attribute (a):ptime:20
      Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000
      Media Attribute (a): rtpmap:18 G729/8000
```

Fig. 5-46 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 5-47)

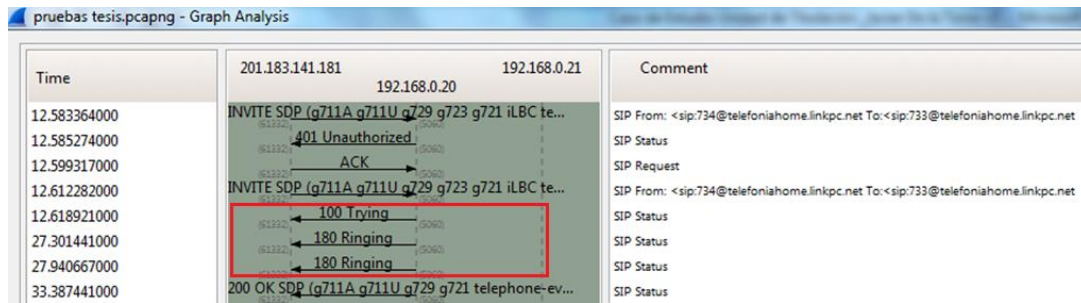


Fig. 5-47 Mensajes SIP Trying y Ringing entre las extensiones 734 y 733

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 5-48 se muestra la cabecera del mensaje SIP 200 OK.

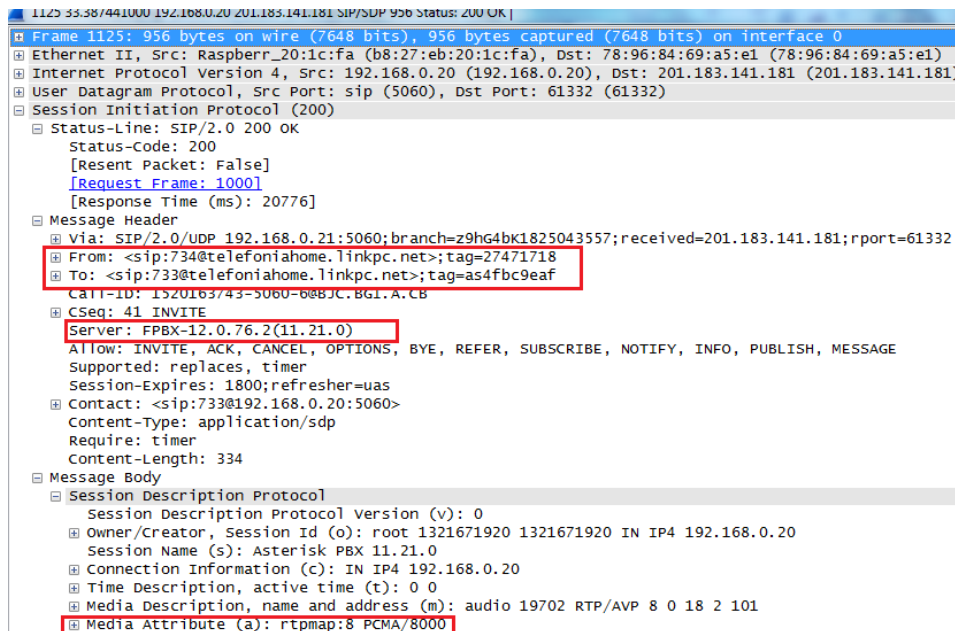


Fig. 5-48 Cabecera SIP del mensaje 200 OK de la llamada desde la ext.734 hacia la ext. 733

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

En la figura 5-49 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 calidad del audio sea buena.

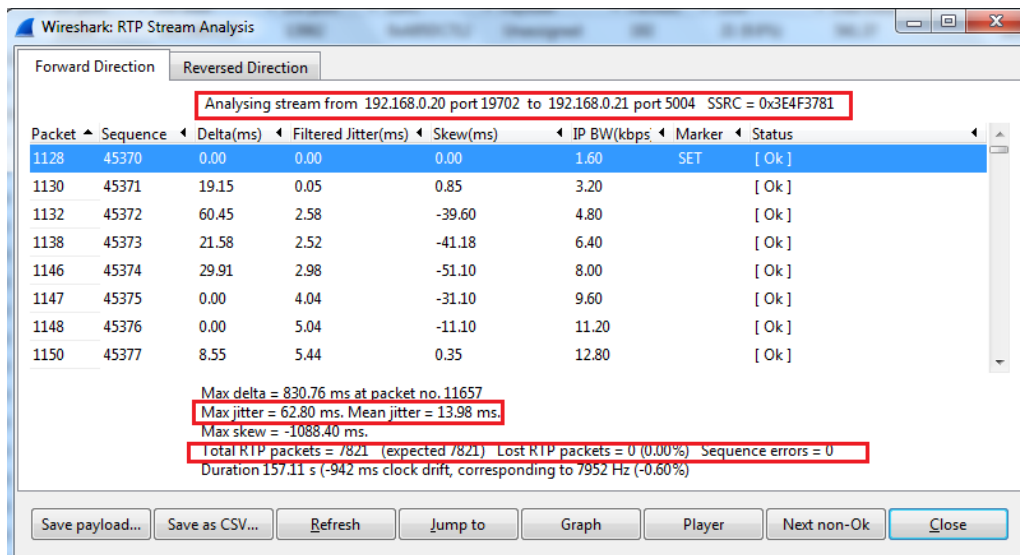


Fig. 5-49 Estadísticas de tráfico envía desde la ext. 733 hacia la ext.734

En la figura 5-50 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 calidad del audio sea buena.

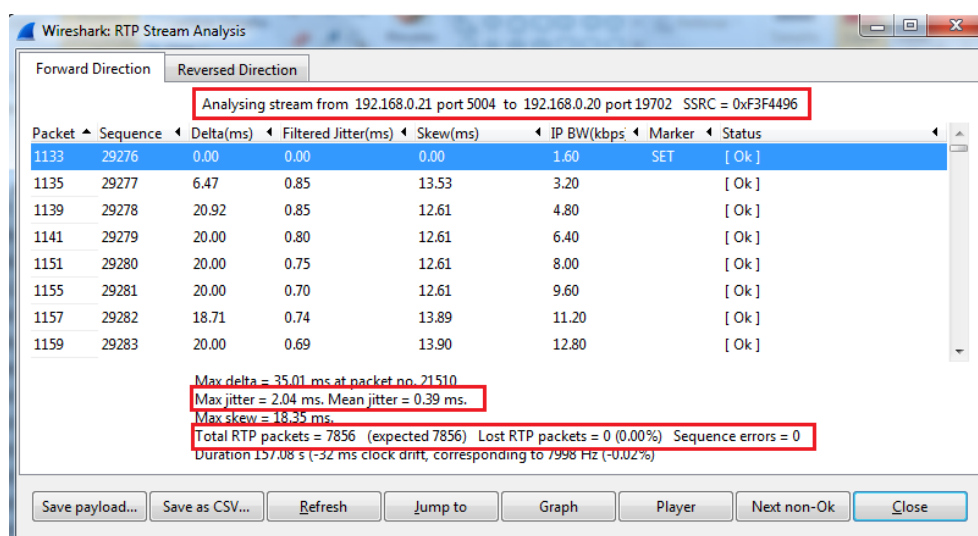


Fig. 5-50 Estadísticas de tráfico envía desde la ext. 734 hacia la ext.734

5.6 Costo Beneficio

5.6.1 Costos

A continuación se realiza la cotización del proyecto, el cual incluye el precio de los elementos que conforman la central telefónica para el hogar, como también la mano de obra para la realización del mismo. (Ver tabla 5-9)

Elementos	Cantidad	Costo por unidad (\$)	Costo total (\$)
Raspberry PI 2 más carcasa	1	84,5	84,5
Grandstream	1	68,0	68,0
Tarjeta micro SD Kingston	1	26,0	26,0
Cable de red cat 5	2	4,5	9,0
TOTAL MATERIALES			187,5
Mano de obra (horas)	5	30	150
COSTO DEL PROYECTO			337,5

Tabla 5-9 Descripción de costos de la central telefónica

5.6.2 Beneficio

El beneficio de este proyecto consiste en que los miembros del hogar van a poder realizar llamadas telefónicas entre sí, sin pagar ningún costo por la llamada telefónica.

A continuación se detalla el ahorro que tendría al mes todos los miembros del hogar al utilizar la central telefónica para realizar llamadas entre ellos.

Miembro	Llamada origen	Operadoras destinos	Total minutos	Costo minuto (\$)	Total Costo (\$)
Mamá	Teléfono fijo	CNT	600	0.01	6,00

	(CNT)	Movistar	150	0.145	21,75
		Claro	60	0.145	8,70
GASTO MENSUAL - MAMÁ					36,5
Papá	Teléfono	CNT	20	0.25	5,00
	Celular (Movistar)	Movistar	150	0.08	12,00
GASTO MENSUAL - PAPÁ					17,00
Hijo	Teléfono Celular (Movistar)	Movistar	300	0,08	24,00
GASTO MENSUAL - HIJO					24,00
Hija	Teléfono Celular (Movistar)	Movistar	240	0.08	19.20
GASTO MENSUAL - HIJA					19,20
Novia	Teléfono Celular (Movistar)	Movistar	300	0.08	24,00
GASTO MENSUAL - NOVIA					24,00
GASTO MENSUAL TOTAL					120.70

Tabla 5-10 Descripción de los gastos de los miembros del hogar

Como se observa en la tabla anterior el gasto mensual que generan todos los miembros del hogar asciende a \$120.70 dólares, lo que quiere decir que la recuperación de la inversión

sería aproximadamente de 3 meses, de ahí en adelante el ahorro mensual para el hogar sería de \$120.70.

6. 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 equipó 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.

Bibliografía:

- [1] Johnston, A. B. (2009). *SIP Understanding the Session Initiation Protocol*. Boston: Artech House.
- [2] UIT. (2005). *Manual sobre redes basadas en el protocolo Internet (IP) y asuntos conexos*. UIT.
- [3] Feit. (1997). *TCP/IP*. Editorial McGraw-Hill.
- [4] Stalling, W. (6ta edición). *Comunicaciones y redes de Computación*. Prentice Hall.
- [5] Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadoras*. Mexico: Person Educación.
- [6] H. Schulzrinne, S. C. (2003). "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550.
- [7] cisco. (19 de mayo de 2008). *Voz sobre IP - Consumo de ancho de banda por llamada*. Recuperado el 2 de marzo de 2016, de Voz sobre IP - Consumo de ancho de banda por llamada: http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/7/73/73295_bwidth_consume.html
- [8] FreePBX. (18 de febrero de 2016). *VoIP Service*. Obtenido de VoIP service: <https://www.freepbx.org/voip-services/>
- [9] H., B. (2013). *Practical Raspberry Pi*. Apress.
- [10] Richardson, M. W. (2012). *Getting started with Raspberry Pi*. Estados Unidos: O'Reilly Media.
- [11] 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>
- [12] Elastix. (1 de abril de 2016). *Configurar DNS Dinamico*. Obtenido de <http://elastixtech.com/configurar-dns-dinamico-en-elastix/>
- [13] QuarealTC. (2008). *Manual FrePBX*. Barcelona- España.
- [14] 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>
- [15] 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/>