

**Diseño e implementación de una solución integral  
de telefonía IP para la empresa Catel C.A.  
Guerra Almeida Luis Giovanni\***  
**Facultad de Ingeniería Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército  
Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador**

**Resumen**

*Este proyecto de tesis se basa en diseñar e implementar una solución de telefonía IP que abarcó conectividad de voz en la empresa Catel C.A. para brindar a sus empleados la posibilidad de comunicarse entre ellos y con usuarios de la red de telefonía pública, además se configuró e implementó el acceso remoto a la red empresarial a través de una red privada virtual.*

*Fueron necesarios estudios previos para ofrecer una fiable y eficiente conectividad, los mismos que permitieron determinar los equipos que se debían adquirir para alcanzar los objetivos trazados. Se implementaron dos soluciones de telefonía IP que permiten a la empresa tener un respaldo como central telefónica digital en caso de que la principal presente errores en su funcionamiento, además se solventaron problemas para enlazar a ciertos usuarios que por su localización no tenían acceso a la red cableada.*

*Las pruebas de calidad de servicio efectuadas en la empresa Catel C.A. mostraron como resultado un servicio de voz y datos de alta calidad en una red controlada, lo cual se vio reflejado en la aceptación del personal por el beneficio prestado.*

**Introducción**

La telefonía desde su invención se ha convertido en uno de los sistemas con mayor aceptación para la comunicación global entre los usuarios, además de ser una herramienta muy importante en el desarrollo de la sociedad. La evolución de la telefonía conjuntamente con el avance de las Tecnologías de la Investigación y Conocimiento (TICs) marcan un punto de partida para la llamada “Era del Conocimiento”, época actual donde el intercambio de experiencias, sucesos y eventos fomentan el conocimiento e influyen directamente en el desarrollo de la tecnología. En el transcurso del tiempo se han dado un sinnúmero de avances en la telefonía tanto a nivel estructural (equipo físico), como a nivel de distribución de servicios a millones de usuarios.

Los caminos que recorre la voz paquetizada a través de la PSTN se describen a continuación en los siguientes procesos y se grafican en la figura 1:

La central local se comunica con el “Media Gateway” (MG) a través de tramas E1 (2 Mb/s comunes y corrientes) que transportan la voz viva. El MG es el encargado de traducir las llamadas TDM a paquetes mediante el protocolo RTP (Real Time Protocol) que viaja por la red IP. La separación de funciones es la *clave de las redes NGN*, en el MG se resuelve el plano de “conectividad” de la red; es decir, el transporte y en el MGC se encuentra el plano de “control”; es decir, la inteligencia. [1]

---

\* luigi\_uio@hotmail.com

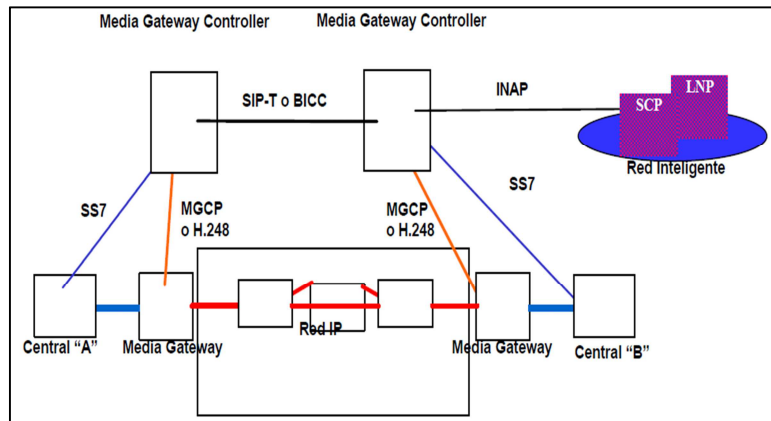


Figura 1. Integración de central VoIP con la PSTN

### Protocolos de señalización.

Tienen las siguientes funciones:

- Establecimiento, modificación y finalización de llamadas/sesiones.
- Registro y localización de usuarios.
- Movilidad.
- Gestión del conjunto de participantes y de los componentes del sistema.
- Descripción de características de las sesiones y negociación de capacidades de los participantes.[2]

### Protocolo H.323

Las operaciones obligatorias que este protocolo debe realizar son las siguientes:

- La traducción de alias o números de teléfono en direcciones IP.
- La administración de ancho de banda y control del tráfico generado por las diferentes comunicaciones, limitando el número máximo de comunicaciones simultáneas.
- Enrutamiento más adecuado para redireccionar la llamada dependiendo de las capacidades del Gateway.
- Control de admisión en la red utilizando para ello mensajes.[3]

### Protocolo SIP

SIP al ser ideado para correr como un servicio más en internet, tiene como característica que su sintaxis es bastante parecida a la que emplea HTTP y SMTP. De una manera más detallada, SIP tiene cinco funciones y son:

- Localización de usuarios.
- Intercambio / negociación de capacidades de los terminales.
- Disponibilidad de usuarios
- Establecimiento de llamada
- Mantenimiento de llamada.[4]

### Protocolos de transporte

#### RTP (Protocolo de Transporte en Tiempo Real)

Creado por la IETF para la transmisión confiable de voz y video a través de Internet. En VoIP el protocolo RTP es el responsable de la transmisión de la voz, mientras que la digitalización y compresión de la voz y el vídeo es realizada por el códec.

#### RTCP (Protocolo de Control en Tiempo Real)

Es un protocolo de control de los flujos RTP, que permite transportar informaciones básicas de los usuarios.[5]

#### Codecs

Al ser la voz una señal analógica y la red de datos una señal digital, necesariamente se requiere un proceso de conversión de ondas análogas a digitales, es decir de codificación-decodificación (CODEC), el cual se puede realizar de diversos modos denominados estándares. [6]

A continuación en la tabla 1 se muestran las características de los principales codecs:

**Tabla 1. Características de los codecs principales**

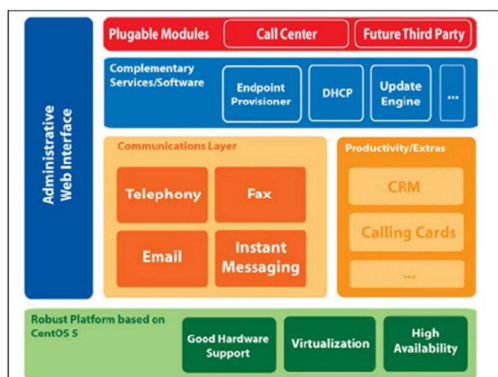
| Códec        | Bit Rate | Sampling Rate | Frame Size | MOS     |
|--------------|----------|---------------|------------|---------|
| <b>G.711</b> | 64 kb/s  | 8 kHz         | 10 ms      | 4.1     |
| <b>G.729</b> | 8 kb/s   | 8 kHz         | 10 ms      | 3.92    |
| <b>GSM</b>   | 13 kb/s  | 8 kHz         | 22.5 ms    | 3.5-3.9 |
| <b>iLBC</b>  | 8 kb/s   | 13.3 kHz      | ms         | >G.729  |

## Soluciones de telefonía a implementar

### Elastix

Es una plataforma de distribución libre que fue creada y es mantenida actualmente por la compañía ecuatoriana PaloSantoSolutions, distribuida bajo licencia GPL versión 2.

Corre sobre el sistema operativo CentOS y se basa en cuatro programas de software que emplean código libre y son: Asterisk, Hylafax, Openfire y Postfix, los cuales integran en un solo paquete: VoIP PBX, fax, mensajería instantánea, correo electrónico y aplicaciones de colaboración [7]. Su estructura se muestra en la figura 2.



**Figura 2. Estructura de Elastix**

### Snom Soho

La IP PBX Snom en su versión Soho está destinada a solventar los problemas netamente de voz de la empresa. Es un sistema telefónico diseñado específicamente para las pequeñas empresas con hasta 10 extensiones. Ideal para los bufetes de abogados, de médicos o de pequeñas oficinas que necesitan un conjunto de características de solución de comunicaciones a un precio accesible. Es posible ejecutarla y conectarla a la red

mediante un servidor que tenga levantadas sus funciones básicas.



**Figura 3. IP PBX Snom Soho**

### Toma de decisiones

Tomando en cuenta las características de las IP-PBX de software gratuito disponibles en internet y los equipos con posibilidad de adquirirse por Catel C.A. se tomaron las siguientes decisiones para brindar una solución integral de telefonía IP:

#### *PBX Primaria: Snom ONE Soho*

Las razones fundamentales para elegir a Snom como PBX primaria son:

- 100% de cumplimiento con los requerimientos de telefonía del Presidente.
- Garantía de funcionamiento y estabilidad al tener su hardware encapsulado.
- Bajo consumo de energía.
- Solución económica y atractiva para empresas con pocos empleados.

#### *PBX Backup: Elastix*

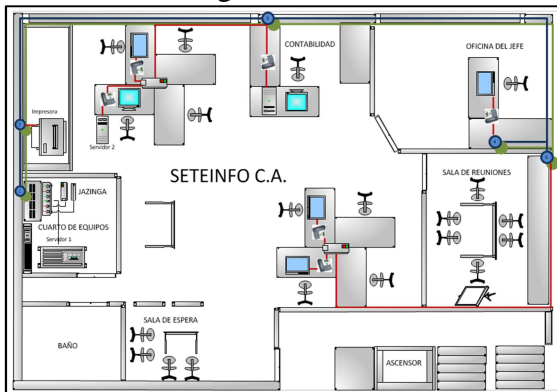
Es una PBX de software libre con una amplia gama de funcionalidades y puede ser instalada sin problemas pero se hallaron las siguientes desventajas:

- Desarrollo condicionado al correcto funcionamiento de una máquina virtual donde se monte esta PBX.
- Compartición de la interfaz de red del servidor.
- PBX VoIP que demandará de recursos a un ordenador con memoria RAM limitada y con otros servicios corriendo simultáneamente.

En base a los estudios realizados, se puede determinar que ninguno de los tres codecs afecta a las comunicaciones web o de telefonía en la empresa. La demanda de telefonía es irregular en la empresa, es decir nunca se presenta consumo simultáneo de las cuatro troncales por tal motivo se decidió configurar la PBX y los terminales IP bajo el códec G.711 que es el cual ofrece la mayor calidad de voz según el MOS, debido a sus niveles de cuantización y una mayor tasa de transmisión de voz en sus paquetes

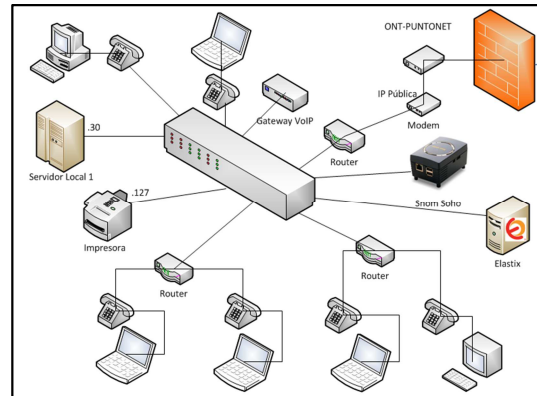
### Diseño de red

Es primordial realizar un diseño de acuerdo a la disponibilidad de los equipos con los que cuenta la empresa, y estudiar detenidamente el cableado o soluciones inalámbricas que se deben implementar para solventar cualquier problema que se presente. Inicialmente la red empresarial tenía distribuidos los equipos como se muestran en la figura 4.



**Figura 4. Planos de la empresa y cableado inicial**

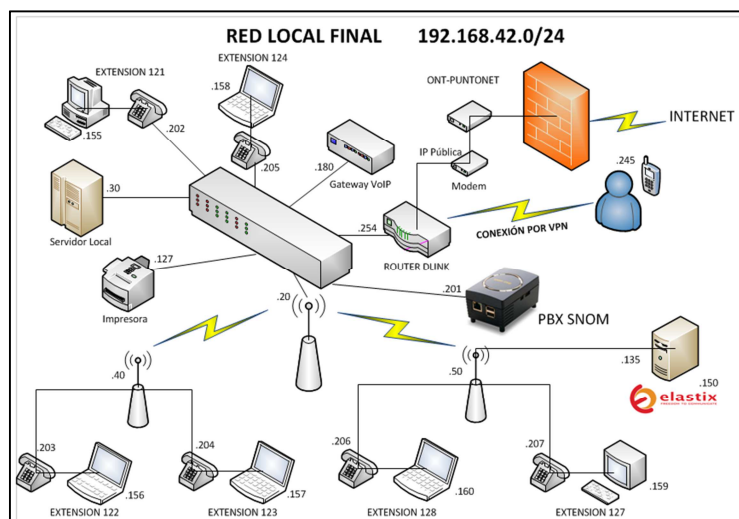
Se empezó a desarrollar el diagrama lógico mostrado en la figura 5, de acuerdo a los requerimientos solicitados por la empresa, es decir implementar dos centrales telefónicas digitales, una de tecnología Snom y otra basada en software libre, además de permitir conectividad remota desde los usuarios de una red sucursal y desde usuarios ubicados remotamente.



**Figura 5. Diagrama lógico inicial**

Como se pudo apreciar en las figuras 4 y 5, todos los equipos mantienen una conexión alámbrica y se solicitó como requerimiento que se comuniquen inalámbricamente a las islas con la red empresarial, es decir que se configuren los routers ubicados en las islas en modo Access Point.

Siendo acogido este requerimiento tuvo que modificarse el diagrama lógico inicial a una versión definitiva mostrada en la figura 6.



**Figura 6. Diagrama lógico final**

### Configuración de los equipos

Se realizaron las respectivas configuraciones en los diferentes equipos de red que se adquirieron y con los que contaba la empresa, siendo las principales las que se enumeran a continuación:

#### Routers

- Actualización de Firmware
- Conectividad Wireless (Canales y seguridad)
- Conectividad a la WAN
- Conectividad a la LAN
- Creación y registro de dominios dinámico para la empresa
- Configuración de servicio para redes privadas virtuales
- Enrutamiento estático entre routers

En cuanto a conectividad con las islas en las instalaciones de la empresa se debieron realizar los siguientes procedimientos:

- Router emisor – Interfaz inalámbrica virtual y registro de MAC's para repetidores
- Routers repetidores – Autenticación en red inalámbrica virtual, con el mismo canal y uso del mismo, además autenticación con el router emisor por MAC.

### PBX Snom Soho y Elastix

- Configuración de IP estática
- Configuraciones generales (extensiones, dominios, planes de marcado, IVR, restricciones, etc.)
- Configuración de troncales

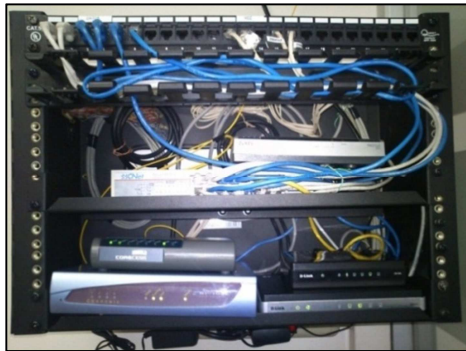
En el caso de Elastix se levantaron los servicios de mensajería instantánea y correo electrónico.

### Gateway VoIP

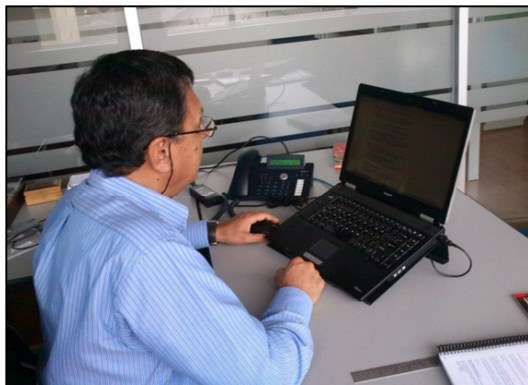
- Configuración de red
- Parámetros generales SIP (configuración de registro y proxy, prioridad de los codecs, registro de troncales, marcados DTMF, etc.)
- Teléfonos IP y softphones
- Configuración de IP estática
- Compatibilidad de códigos de funcionalidades para cada IP PBX

### Implementación de los equipos

En la figura 7 el resultado de las instalaciones que se realizaron en el cuarto de sistemas y en la figura 8, a un usuario de la empresa con el respectivo terminal telefónico.



**Figura 7. Implementación en el cuarto de sistemas**



**Figura 8. Usuario final con su teléfono IP**

### Pruebas de conectividad y calidad de servicio (QoS)

Se realizaron las respectivas pruebas de conectividad asumiendo el peor escenario en el diseño de red que se implementó, es decir se realizó ping desde un terminal conectado a la red remota hacia la central telefónica digital Snom ubicada en la red local como se muestra en la figura 9.

```

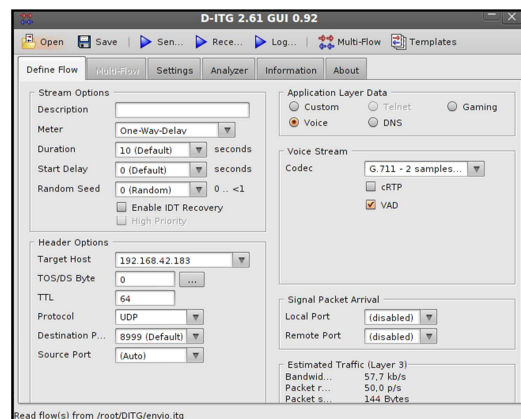
Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de red inalámbrica:
  Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
  Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80::5de9:3a59:619d:
  Dirección IPv4. . . . . : 192.168.50.106
  Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
  Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.50.254
C:\Users\Giovanni>ping 192.168.42.201

Haciendo ping a 192.168.42.201 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.42.201: bytes=32 tiempo=31ms TTL=62
Respuesta desde 192.168.42.201: bytes=32 tiempo=30ms TTL=62
Respuesta desde 192.168.42.201: bytes=32 tiempo=29ms TTL=62
Respuesta desde 192.168.42.201: bytes=32 tiempo=29ms TTL=62

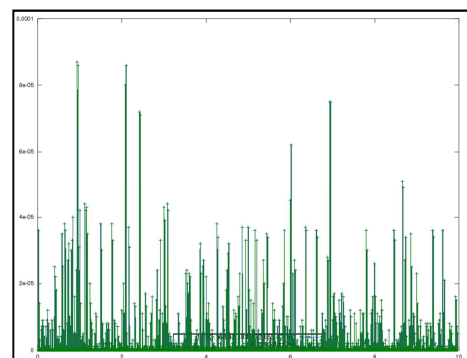
Estadísticas de ping para 192.168.42.201:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 29ms, Máximo = 31ms, Media = 29ms
  
```

**Figura 9. Conectividad entre redes local y remota**

Con una conectividad satisfactoria, se realizaron pruebas de calidad de servicio al inyectar tráfico de voz con DITG [8] en la red empresarial para simular un ambiente real (figura 10) y obtener resultados textuales y gráficos que permitan tomar los correctivos necesarios (figura 11).



**Figura 10. Inyección de tráfico de voz en la red**



**Figura 11. Jitter con códec G.711 en Snom Soho**

### Análisis de resultados y estudio comparativo

En base a los resultados mostrados en la tabla 2, se pudo determinar que la central telefónica digital que presenta mayor calidad de servicio es la Snom Soho, lo cual definió su uso como PBX principal, mientras que Elastix se mantiene como PBX de backup en la empresa.

Tabla 2. Parámetros globales de QoS locales

| Códex                 | PBX SNOM SOHO |             | PBX ELASTIX  |             |
|-----------------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|                       | Retardo (ms)  | Jitter (ms) | Retardo (ms) | Jitter (ms) |
| G.711(1 muestra/pkt)  | 0,154         | 0,013       | 2,946        | 0,194       |
| G.711(2 muestras/pkt) | 0,152         | 0,011       | 0,697        | 0,137       |
| G.729(2 muestras/pkt) | 0,152         | 0,010       | 0,229        | 0,087       |
| G.729(3 muestras/pkt) | 0,153         | 0,015       | 0,115        | 0,086       |

## Conclusiones

- Se diseñó e implementó una solución integral de telefonía IP en la empresa Catel C.A. con la utilización de la técnica de voz sobre IP ofreciendo una alta calidad de servicio.
- Se intercomunicaron a las redes local y remota permitiendo tener a los usuarios de la empresa Catel C.A. intercomunicados y contando con las bondades que la tecnología Snom ofrece a sus clientes.
- Fue diseñada e implementada Elastix como una central telefónica digital redundante basada en software libre para poder realizar un estudio comparativo entre las dos tecnologías.
- Se optimizó la red de la empresa implementando routers repetidores que permitieron la conectividad de usuarios que no tenían acceso a nodos cableados de conexión a la red interna.
- Se documentó todo el proceso de instalación y configuración del software: Snom, Elastix, ddwrt y AudioCodes, así como la implementación de su hardware en la empresa Catel C.A.
- Se realizó un manual de usuario que permite al personal de la empresa Catel C.A. tener conocimientos básicos del funcionamiento de las centrales telefónicas y solventar cualquier inconveniente en el uso cotidiano de los terminales basados en telefonía sobre IP.

## Referencias bibliográficas

- [1] Entendiendo la tecnología VoIP”, Telefónica, Contribución Técnica
- [2] Moreno, José Soto, Ignacio Larrabeiti, David “*Protocolos de Señalización para el transporte de Voz sobre redes IP*” Universidad de Madrid
- [3] VoIP, Protocolo H.323, <http://www.redesyseguridad.es/voip-protocolo-h323>
- [4] Montesino, Federico, “SIP: Session Initiation Protocol”, *XV Grupos de Trabajo de Red IRIS*, Mayo 2003
- [5] “RTP y RTCP”, *Etudes et Formations en Télécommunications (EFORT)*
- [6] Codecs, <http://www.voipforo.com/codec/codecs.php>, 10 de abril/2012
- [7] Landívar, Edgar, *Comunicaciones Unificadas con Elastix*, Volumen 1.
- [8] DITG (Data Inyector Traffic Generator), <http://www.grid.unina.it/software/ITG/download.php>



Luis G. Guerra nació en Quito, Ecuador, el 15 de abril de 1987. Estudió en la Escuela Particular “Paulo VI”, cursó sus estudios colegiales en el Colegio Municipal

Experimental “Sebastián de Benalcázar”, es egresado de la Escuela Politécnica del Ejército de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones. Entre sus campos de interés se encuentran las tecnologías de la información, en especial la voz sobre IP y sus diferentes aplicaciones.