

# **Comunicaciones Unificadas con Elastix**

**Volumen 1**

*Edgar Landívar*

Copyright (c) 2008-2009 Edgar Landívar

Este documento está permitido de copiar, distribuir y/o modificar bajo los términos de la licencia ***GNU Free Documentation License, Versión 1.3***; sin Secciones Invariantes (*Invariant Sections*), Textos de Cubierta Frontal (*Front-Cover Texts*), y sin Textos de Cubierta Posterior (*Back-Cover Texts*).

El autor puede en cualquier momento decidir actualizar la licencia de la presente obra a una versión más reciente de la ***GNU Free Documentation License***.

Una copia de esta licencia se incluye en el Apéndice A: *GNU Free Documentation License*.

## **Segunda Edición, versión Beta**

*A los que siempre creyeron y a otros gigantes que nos mostraron el camino*

# Reconocimiento

La elaboración de este libro involucró un enorme trabajo que fue facilitado gracias a la generosa ayuda de algunas personas con las cuales me encuentro agradecido. Mis más sinceros agradecimientos a:

- *A la comunidad Elastix*, por su valioso *feedback* del producto Elastix y de seguro por el que vendrá acerca de esta obra. Sin este componente este libro no podría evolucionar
- *Edwin Boza*, por su ayuda en el capítulo de instalación de Elastix sobre *soft RAID*
- *Bruno Macías*, por aportar con contenido para el apartado de *Endpoint Configurator*
- *Jorge Gutierrez*, por colaborar con contenido para la configuración de teléfono IP Polycom
- *Rafael Bonifaz*, por disipar mis dudas acerca de la FDL

## Por qué comprar este libro?

Comprar una versión impresa de este libro es una manera de colaborar con el proyecto Elastix. Sin embargo, si al lector no le gustan los libros impresos pero desea colaborar con este proyecto de software libre, todavía puede realizar una donación a través del siguiente enlace:

[http://www.elastix.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=128&Itemid=54](http://www.elastix.org/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=54)

## Qué significa “versión Beta”?

Significa que se trata de una edición preliminar que pudiera estar sujeta a errores menores y por lo tanto cualquier retroalimentación de los lectores es bienvenida.

## Feedback

Cualquier sugerencia o colaboración será bien recibida. Que el lector no dude en escribir un email a [elastixbook@palosanto.com](mailto:elastixbook@palosanto.com)

# Indice

<b>Indice .....</b>	<b>7</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Introducción a la telefonía .....</b>	<b>15</b>
1.1 Breve historia de la telefonía .....	15
Los albores de la telefonía .....	15
Los dolores de cabeza de las famosas patentes .....	16
El desarrollo de la tecnología telefónica .....	18
1.2 Principios y transmisión de la voz humana .....	18
Rango de frecuencias de la voz humana .....	19
El micrófono .....	19
Ancho de banda y capacidad de información .....	21
1.3 Digitalización de la voz .....	21
Teorema de Nyquist .....	22
1.4 Redes orientadas a circuitos .....	22
1.5 Redes orientadas a paquetes .....	23
1.6 Red Pública Telefónica ( <i>PSTN</i> ) .....	24
1.7 Circuitos analógicos .....	24
Señalización analógica .....	25
DTMFs .....	27
El teléfono analógico .....	28
1.8 Circuitos digitales .....	30
La base DS-0 .....	30
Circuitos T-carrier y E-carrier .....	30
SONET y Circuitos Opticos .....	30
1.9 Protocolos de Señalización Digital .....	30
Señalización Asociada al Canal (CAS) .....	31
Señalización de Canal Común (CCS) .....	31
<b>2. Introducción a la VoIP .....</b>	<b>33</b>
2.1 VoIP: una sopa de protocolos .....	34
Clasificando los protocolos VoIP .....	34
2.2 Protocolo IP .....	36
El Internet .....	36
Qué es el protocolo IP? .....	37
Dirección IP .....	37
Paquete IP .....	37
Direccionamiento IP .....	38

2.3 Protocolos de transporte .....	39
Protocolo TCP .....	40
Protocolo UDP.....	40
2.4 Codificación de la voz .....	41
Codecs .....	41
2.5 Sobrecarga de protocolos.....	43
Comparativa de <i>codecs</i> .....	44
<b>3. Linux para Administradores de Elastix .....</b>	<b>47</b>
3.1 Introducción.....	47
3.2 Línea de comandos de Linux.....	48
3.3 Comandos básicos .....	49
3.4 Sistema de archivos .....	51
Organización.....	51
Permisos .....	52
3.5 RPMs y actualizaciones vía Yum .....	56
Yum al rescate .....	57
<b>4. Asterisk Essentials .....</b>	<b>59</b>
4.1 Qué es Asterisk? .....	59
4.2 Breve historia de Asterisk .....	60
4.3 Funcionalidad provista por Asterisk.....	60
4.4 Funcionamiento de Asterisk .....	66
Encendido y apagado.....	66
Directorios de Asterisk .....	67
Estructura modular .....	67
4.5 El proyecto Zaptel, ahora DAHDI.....	68
Breve historia del proyecto Zaptel.....	69
4.6 Configuración de Asterisk .....	70
Archivos de configuración .....	70
Comentarios en los archivos de configuración.....	70
4.7 Plan de marcado (dial plan) .....	71
Contextos .....	71
Instrucciones .....	72
Variables .....	74
Aplicaciones más comunes.....	76
4.8 Asterisk CLI .....	77
Comandos del CLI.....	79
<b>5. Instalando Elastix .....</b>	<b>81</b>
5.1 Instalando desde CD.....	81
5.2 Instalando Elastix sobre un CentOS o Red Hat preinstalado .....	87

# Introducción

Ya existían otros libros o manuales de Elastix cuando me vi en la misión de Escribir la presente obra. Había leído ya *Elastix Without Tears*, un gran trabajo de Ben Shariff y me parecía que ya estaban cubiertos los temas más importantes cuando nos reunimos en mi oficina con otros colaboradores a planificar lo que sería nuestro nuevo producto de entrenamiento para la certificación de Elastix.

Casi de inmediato nos dimos cuenta que pese a que las obras existentes cubrían muchos tópicos importantes no funcionarían del todo como material de estudio para un curso de certificación. La obra que necesitábamos tenía que cubrir aspectos internos del funcionamiento de Elastix y sus componentes, así como también cubrir posibles vacíos de los alumnos en tópicos diversos como Asterisk y protocolos de comunicación como SIP y RTP. No existía nada parecido en ese momento, una alternativa era usar diferentes obras para cubrir la totalidad del entrenamiento pero eso sería un poco engoroso y se vería algo desorganizado.

Salimos de la reunión con el sinsabor de no tener material de estudio.

Semanas después me di a la tarea de escribir un pénum para nuestros cursos olvidándome un poco del tema del libro faltante. El pénum fue del agrado de todos así que decidí bosquejar brevemente lo que debería contener cada tópico y ese fue el inicio del libro que tienen en sus manos (o en su pantalla)... Sin darme cuenta lo había comenzado a escribir. Una noche en mi casa vi que ya tenía cierta forma así que decidí comentarlo al siguiente día en la oficina y todos aprobaron la idea. Decidimos hacer dos tomos o volúmenes, el primero cubriría los tópicos requeridos para nuestro primer curso y un segundo cubriría los tópicos de nuestro segundo y final curso.

Ya iba por la mitad del primer volumen cuando surgió la pregunta acerca del licenciamiento de la obra. Elastix es software libre y yo no había pensado aún en el licenciamiento del libro. Algunos pensaban en que no debería ser libre debido a que era material de entrenamiento que de alguna manera nos otorgaba ventaja competitiva en el mercado. En este punto debo de agradecer la ayuda de algunos integrantes del equipo de PaloSanto Solutions por sus acertados argumentos en pro de FDL (*Free Documentation License*).

Finalmente la presente obra se terminó con la escritura de esta introducción el 29 de Octubre de 2008. Espero que sea de la utilidad y agrado de todos vosotros.

-- Edgar Landivar  
Elastix Project Leader



# 1

## Introducción a la telefonía

*No importa si yo muero, otros terminarán mi trabajo...*

-- *Mark Twain*

### 1.1 Breve historia de la telefonía

Sin duda la invención de lo que hoy conocemos como telefonía debió ser un acto asombroso en su tiempo, casi mágico. El oír la voz de alguien remoto en tiempo real saliendo de una misteriosa caja en una época en la que esto era solo posible en la ciencia ficción debió haber sido una experiencia única y casi fantástica.

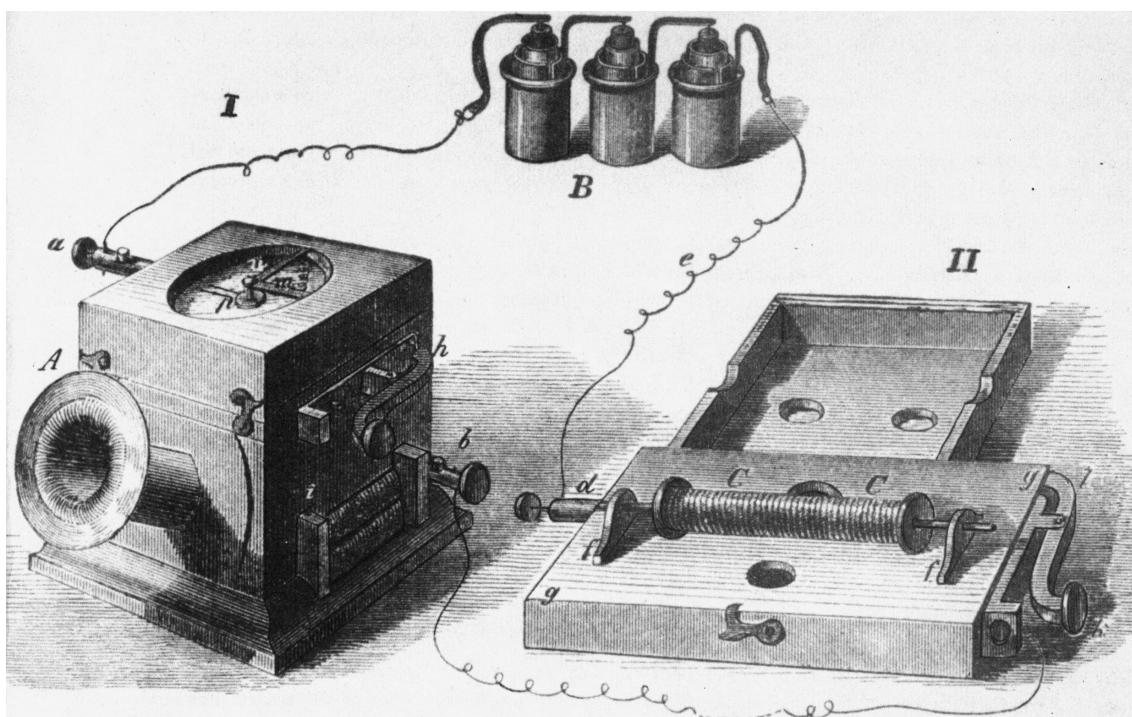
De seguro que la idea de un aparato parlante ya rondaba por la cabeza de muchos inventores desde tiempos inmemoriales, pero fue a inicios del siglo 19 cuando parecía algo alcanzable pues ya se había descubierto la electricidad, inventado el telégrafo y algunos ya experimentaban con ondas de radio.

### Los albores de la telefonía

A mediados del siglo 19 hubo un interesante movimiento en torno a lo que hoy conocemos como teléfono.

En 1849 Antonio Meucci, médico italiano considerado por muchos como el inventor del teléfono, hizo una demostración de un dispositivo capaz de transmitir voz en La Habana. Pocos años después, en 1854, el mismo Meucci hace una nueva demostración de su invención en la ciudad de Nueva York.

Mientras Meucci se las daba a las tareas de inventor, otros también perseguían la idea de construir un “telégrafo parlante” y es así como en 1860 el alemán Johann Philipp Reis construye un dispositivo capaz de transmitir voz basado en la idea original de Charles Bourseul, quien a su vez describió la construcción de dicho dispositivo en 1854 pero nunca lo construyó. Reis continuó mejorando su aparato y un año más tarde ya estaba transmitiendo voz a más de 100 metros de distancia.



Teléfono de Reis

Un par de años más tarde Innocenzo Manzetti construye el esperado “telégrafo parlante” que él mismo había visionado ya en 1844, pero no se interesa en patentarlo.

## Los dolores de cabeza de las famosas patentes

Hasta aquí ya existían algunos prototipos de teléfono pero nadie lo había patentado.

El primero en tratar de patentar el invento fue Meucci, quien en 1871 suscribió un documento de “aviso de patente” pero por su condición económica nunca pudo pagar el dinero para terminar este trámite y su “aviso de patente” expiró pocos años después.

A Meucci no le fue muy bien que digamos pues no pudo vender su invento y alcanzar la prosperidad.

En 1875, un año después de expirar el trámite de patente de Meucci, Alexander Graham Bell, un escocés radicado en los Estados Unidos, logra patentar un aparato similar y es el primero en hacerlo.

Bell había estado experimentando previamente con algunas ideas para concebir su dispositivo telefónico hasta que un día logró arrancarle a la electricidad algunos sonidos. Cuenta la historia que la primera llamada que hizo fue para decirle a su asistente las célebres frases “Sr. Watson, venga, necesito verlo” (*Mr. Watson... come here... I want to see you*).

Un hecho curioso que desató mucha polémica es que otro inventor llamado Elisha Gray también trató de patentar un invento similar tan solo unas pocas horas después de Bell. Los dos inventores entraron en una conocida disputa legal que finalmente Bell ganó.

Gracias a la patente Bell pudo hacer de la idea del teléfono un negocio rentable y tiene el mérito de haber desarrollado la idea y convertirla en algo práctico para la sociedad.



Ilustración de dos personas hablando por teléfono a fines del siglo IXX

Se cuenta que en determinado momento Bell trató de vender su patente a *Western Union* por \$100 mil dólares pero el presidente de *Western Union* se negó pues consideró que el teléfono “era nada más que un juguete”. Tan solo dos años más tarde el mismo directivo de *Western Union* le comentó a sus colegas que si pudiera conseguir la patente de Bell por \$25 millones de dólares lo consideraría una ganga.

Esto nos da una idea de cómo comenzaba a crecer el negocio de Bell. En 1886, ya existían más de 150,000 abonados telefónicos en los Estados Unidos.

A partir de aquí la telefonía poco a poco se empezó a convertir en un servicio básico de la sociedad actual.

## **El desarrollo de la tecnología telefónica**

Como sucede siempre con los avances tecnológicos la telefonía continuó evolucionando. Al principio, para que un abonado se comunicara con otro este tenía que solicitarle la llamada a una operadora, quien manualmente conectaba los cables para conmutar un punto con otro. En 1891 se inventó un teléfono “automático” que permitía marcar directamente.

En un principio Bell fue casi exclusivamente la única compañía en explotar la tecnología debido a sus patentes. Sin embargo, cuando estas expiraron nacieron cientos de pequeñas compañías que empezaron a dar servicio, la mayoría en sitios rurales donde Bell aún no llegaba. Poco a poco estas compañías empezaron a crecer y ya a inicios del siglo 20 tenían en su conjunto más abonados que la propia Bell. La sana competencia hizo lo suyo y la tecnología telefónica aceleró su evolución.

Ya para finales de la segunda guerra mundial el servicio telefónico llegaba a millones de abonados.

En 1947, científicos de Bell inventan el transistor y cambian el curso de la historia de la humanidad. En 1948 ganan el Premio Nobel por su trabajo.

En los años 60s se lanzan los primeros satélites de comunicaciones y las comunicaciones entre continentes se facilitan. No está demás decir que esto no hubiera sido posible sin la previa invención del transistor.

## **1.2 Principios y transmisión de la voz humana**

La voz humana está compuesta por ondas acústicas que viajan a través del aire a la velocidad del sonido, esto es a 1,244 Km/h (o 340 m/s). Bastante rápido verdad? Incluso más rápido que un avión comercial. Pero esta rapidez no significa que me pueda comunicar fácilmente con puntos distantes pues la voz humana se atenúa rápidamente, perdiendo energía a medida que viaja. Luego de unos pocos metros ya no podemos escuchar una conversación.

La voz humana por tanto es de la misma naturaleza que el resto de ondas acústicas y esto ya se conocía desde antes de la invención del teléfono.

Antes de la invención del teléfono también se conocía que existían otros tipos de ondas llamadas ondas eléctricas que podían ser transmitidas a través de un conductor metálico como un cable de cobre. Este segundo tipo de ondas es de una naturaleza diferente a las ondas acústicas y viaja a la velocidad de la luz, es decir aproximadamente 300,000 km/s. Es decir, más de lo que podamos imaginar; casi instantáneamente desde un punto de vista terrenal. Adicionalmente podemos controlar la atenuación de estas ondas y hacerlas viajar por grandes distancias.

Con estos hechos conocidos ya a mediados del siglo 19 es más fácil comprender que muchos persiguieran la idea de transformar las ondas acústicas en ondas eléctricas para así poder transmitirlas luego a grandes distancias a través de conductores metálicos. La cuestión es que había que inventar un dispositivo para hacer dicha transformación y allí estaba la clave del asunto. Este dispositivo, conocido como micrófono en nuestros días es una parte importante de cualquier aparato telefónico.

## **Rango de frecuencias de la voz humana**

Otra característica importante de la voz humana es que las cuerdas vocales modulan la voz en un amplio espectro de frecuencias que van de graves a agudos en un rango aproximado de 20Hz a 20kHz. Todo un abanico de sonidos!

Esto nos hace suponer que un micrófono debe ser capaz de capturar y transmitir todo este rango de frecuencias. Sin embargo, en la actualidad sabemos que para transmitir voz "entendible" no es necesario transmitir todas las frecuencias sino un rango mucho menor y transmitir un rango menor de frecuencias tiene sus ventajas pues facilita la transmisión como veremos más adelante. Por lo tanto los teléfonos comerciales solo transmiten un rango aproximado de 400Hz a 4kHz. Esto distorsiona un poquito la voz pero de todas maneras se puede entender. Es por eso que cuando oímos a alguien por teléfono su voz suena ligeramente diferente que en la vida real pero aun así podemos entender la conversación.

## **El micrófono**

El micrófono fue un elemento clave en la invención del teléfono pues era el dispositivo que realizaba la conversión de las ondas mecánicas a ondas eléctricas.

Hay muchos tipos de micrófonos que operan sobre diferentes principios. Uno que se usó por mucho tiempo en teléfonos era el de carbón que consistía en una cápsula llena de granitos de carbón entre dos placas metálicas. Una de las placas era una membrana que vibraba con las ligeras presiones de las ondas de voz; de esta manera la resistencia

eléctrica de la cápsula variaba con la voz y se generaba una señal eléctrica correspondiente.



Típico micrófono de carbón extraído de teléfono de disco

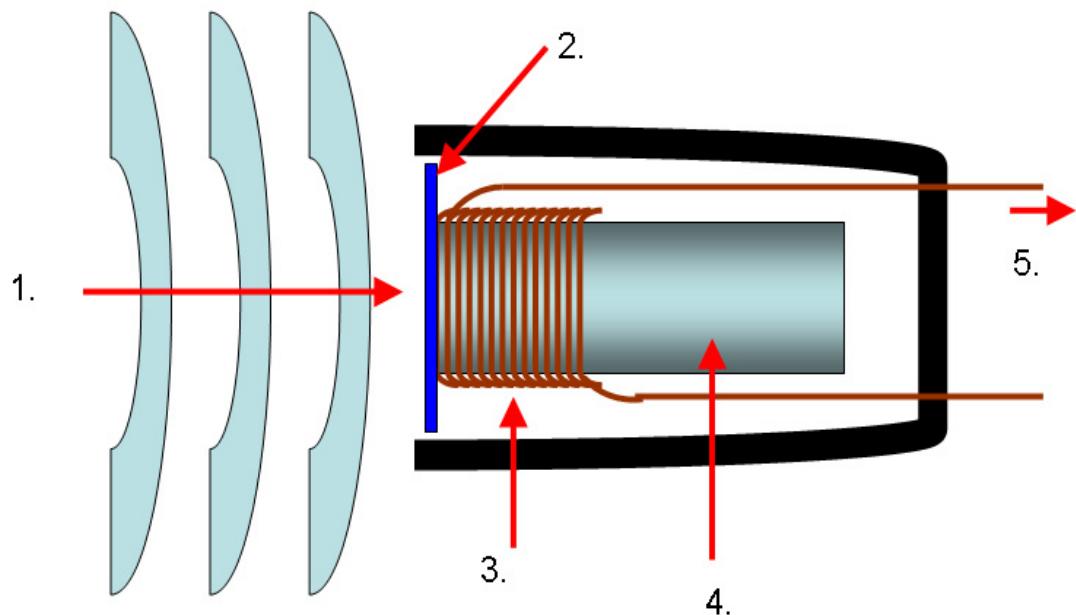


Diagrama esquemático de micrófono electro-magnético

Otro tipo de micrófono muy común en la actualidad es el dinámico o electro-magnético que consiste en una bobina de hilo de cobre enrollada sobre un núcleo de material ferromagnético. Este núcleo se encuentra sujetado a un diafragma que vibra con la presión de las ondas de voz. De esta manera se induce una ligera corriente eléctrica en la bobina que es amplificada luego al interior del teléfono.

En la figura anterior podemos observar algunos componentes del micrófono electro-magnético reaccionando frente al estímulo de las ondas de voz.

- 1      Ondas de voz
- 2      Diafragma
- 3      Bobina
- 4      Núcleo ferromagnético
- 5      Corriente inducida

## **Ancho de banda y capacidad de información**

Ancho de banda es un término algo difícil de entender al principio pues es un concepto bastante amplio.

En general podemos decir que ancho de banda es una medida de la cantidad de información que podemos transmitir por un medio por unidad de tiempo. Debido a que es una medida por unidad de tiempo muchas veces se hace una analogía con la velocidad. Pero hay que estar atento a confusiones.

Medidas comunes para expresar el ancho de banda son los bits por segundo. Esta medida también equivale a bits/s, bps o baudios.

El ancho de banda es un término muy importante cuando se habla de telefonía pues las comunicaciones en tiempo real necesitan un ancho de banda mínimo asegurado para entregar una comunicación de calidad en destino.

## **1.3 Digitalización de la voz**

Las redes digitales de transmisión de voz y datos son comunes en nuestra era. Fueron creadas ya que presentan ciertas ventajas sobre las redes analógicas como por ejemplo que conservan la señal casi inalterable a través de su recorrido. Es decir que es más difícil que la comunicación se vea afectada por factores externos como el ruido eléctrico. Además nos provee de métodos para verificar de cuándo en cuando la integridad de la señal, entre otras ventajas.

Dicho fácil, digitalizar una señal de voz no es otra cosa que tomar muestras (a intervalos de tiempo regulares) de la amplitud de la señal analógica y transformar esta información a binario. Este proceso de denomina muestreo.

## Teorema de Nyquist

En 1928 Henry Nyquist, un ingeniero Suizo que trabajaba par AT&T, resolvió el dilema de cuánto es necesario muestrear una señal como mínimo para poder reconstruirla luego de forma exacta a la original.

El teorema propuesto decía que como mínimo se necesita el doble de ancho de banda como frecuencia de muestreo. Esto queda reflejado de mejor manera con la siguiente expresión.

$$f_m \geq 2 BW_s$$

Hagamos un breve cálculo mental acerca de cual sería la frecuencia de muestreo para poder convertir una señal de voz humana a digital y luego poder reconstruirla en destino.

Ya habíamos dicho que para que la voz humana sea entendible es suficiente transmitir un rango de frecuencias de entre 400Hz a 4,000Hz. Por lo tanto, según el teorema de Nyquist como mínimo deberíamos muestrear al doble de la frecuencia mayor, es decir a 8,000Hz.

Luego veremos que es precisamente esa frecuencia de muestreo de 8,000Hz la que se usa en la mayoría de *codecs*. Gracias Nyquist!

## 1.4 Redes orientadas a circuitos

Las redes orientadas a circuitos (*circuit switched*) son aquellas donde se establece un circuito exclusivo o dedicado entre los nodos antes de que los usuarios se puedan comunicar.

Una vez que se establece un circuito entre dos puntos que quieren comunicarse, el resultado básicamente es el equivalente a conectar físicamente un par de cables de un extremo a otro. Una vez establecido el circuito, éste ya no puede ser usado por otros.

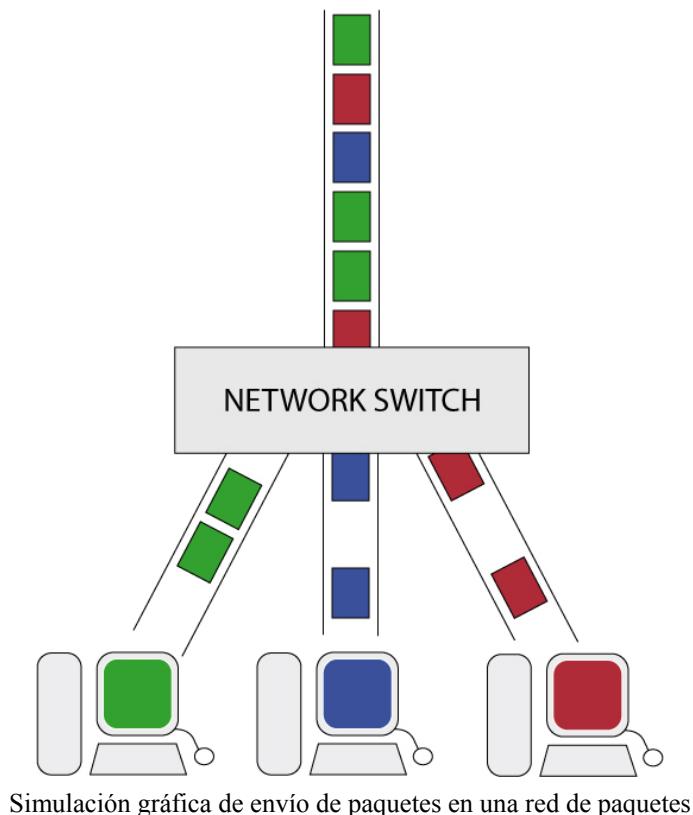
En cada circuito el retardo es constante, lo cual es una ventaja. Sin embargo, este tipo de redes es costoso debido al mismo hecho de que se necesita un circuito dedicado para cada abonado.

Este tipo de redes es el tradicionalmente usado por compañías telefónicas alrededor del mundo y es el mismo que usó Bell en sus inicios; obviamente guardando las distancias tecnológicas correspondientes.

Es común que ciertas personas confundan las redes de circuitos con las redes analógicas pero es necesario aclarar que las redes de circuitos bien pueden transportar datos digitalmente.

## 1.5 Redes orientadas a paquetes

Una red de paquetes es una red que por un mismo medio trafica simultáneamente diferentes flujos de información. Para hacer esto divide el tráfico de cada flujo de información en fragmentos o paquetes que envía intercaladamente. Luego, en el destino los paquetes se reensamblan para reproducir el mensaje original.



Un ejemplo de este tipo de redes son las redes IP como es el caso del Internet, donde por una misma conexión pueden llegarnos distintos flujos de información. De esta manera podemos estar haciendo video-conferencia al mismo tiempo que enviamos un correo electrónico o navegamos por el Web. Inclusive por este tipo de redes pueden circular simultáneamente flujos de información para diferentes destinos o direcciones IP.

A diferencia de las redes orientadas a circuitos, en este tipo de redes el ancho de banda no es fijo ya que depende del tráfico de la red en un momento dado. Adicionalmente cada paquete de un mismo flujo de información no está obligado a seguir el mismo camino por lo que los paquetes que originalmente fueron generados en secuencia pueden llegar desordenados a su destino. Este tipo de factores son muy importantes a tener en cuenta cuando se trafica voz sobre una red de paquetes ya que afectan la calidad de la llamada.

Las redes de paquetes se han vuelto populares, principalmente porque optimizan recursos debido al hecho de poder utilizar el mismo medio para enviar varios flujos de información.

## 1.6 Red Pública Telefónica (PSTN)

La Red Pública Telefónica o PSTN (por sus siglas en inglés) es esencialmente una red basada en circuitos. Esta red cubre tanto telefonía fija como móvil y es la red que hace posible que podamos comunicarnos con cualquier persona en nuestra ciudad o alrededor del mundo.

Originalmente fue una red analógica pero actualmente es una red en su mayoría digital; por tanto existen dos tipos de circuitos: analógicos y digitales.

## 1.7 Circuitos analógicos

Los circuitos analógicos son comúnmente pares de cobre que llegan a los abonados del servicio telefónico y por donde se transmite la señal eléctrica de la voz de manera analógica. El mismo circuito lleva adicionalmente la señalización necesaria para establecer, mantener y terminar una llamada. Estos circuitos analógicos se deben conectar a un *switch* telefónico encargado de direccionar la comunicación entre los abonados.

Los circuitos analógicos están en decadencia pues las compañías telefónicas encontraron muchas ventajas en las comunicaciones digitales y es por esa razón que pese a que en la actualidad aún vemos circuitos analógicos esto se trata tan solo de la “última milla”. En cierto punto de la red telefónica esta comunicación es convertida a digital y transmitida a un *switch* telefónico digital.

La circuitería analógica comúnmente se asocia con el término de “telefonía tradicional”.

Como en el pasado era más común que los teléfonos pudieran estar ubicados en áreas rurales donde no llegaba la electricidad se decidió que la red telefónica proveyera cierto

voltaje de alimentación. Es por eso que algunos modelos de teléfonos analógicos no necesitan conectarse a la alimentación eléctrica.

En todo caso la OC (Oficina Central) genera 48 Voltios de corriente directa para alimentar a los teléfonos de los abonados. Usando léxico estricto deberíamos decir -48 Voltios debido a que este voltaje se mide con respecto a uno de los conductores. Sin embargo para ser prácticos en este libro usaremos indistintamente 48V o -48V para referirnos a lo mismo.

## Señalización analógica

Para que las llamadas telefónicas funcionen correctamente es necesario contar con indicaciones o señales eléctricas que nos permitan intercambiar información entre el abonado y la OC. En breve veremos en qué consisten las señales más comunes.

Existen básicamente 3 métodos de señalización analógica que la industria ha desarrollado a través de los años. Estos se llaman *loop start*, *ground start* y *kewlstart*. Es importante cuando se configura una central telefónica que va conectada a una línea analógica que escojamos el método de señalización adecuado pues caso contrario podemos encontrarnos con problemas extraños como que la línea se cuelga inesperadamente o que no podemos colgar la línea correctamente, entre otras cosas.

La diferencia entre *loop start* y *ground start* radica en la manera en la que el teléfono requiere tono de marcado a la OC (proceso también llamado *seizure*). *Ground start* requiere tono de marcado aterrizando (de allí el término *ground*) uno de los conductores de la línea telefónica mientras que *loop start* lo hace realizando un corto circuito entre ambos conductores (es decir creando un lazo o *loop*).

*Kewlstart* es una evolución de *loop start* que le añade un poco más de inteligencia a la detección de desconexiones (colgado de la llamada) pero básicamente sigue siendo un *loop start*.

Debido a que *ground start* no es muy común en nuestros días, casi siempre nos veremos usando *loop start*.

A continuación explicaremos más al detalle la señalización analógica para los eventos más comunes. Para hacerlo nos basaremos en el progreso de una llamada típica usando señalización *loop start*. El progreso de una llamada lo podemos dividir en seis instancias: colgado (*on-hook*), descolgado, marcación, conmutación, ringado y conversación.

### Colgado

Mientras el teléfono está colgado la OC provee un voltaje DC de 48 Voltios. El teléfono mantiene un circuito abierto con la línea telefónica; es decir que actúa como si no estuviera conectado y por lo tanto no fluye corriente por la línea.

Este estado también es conocido como *on-hook* por su significado en inglés.

### Descolgado

Cuando el usuario descuelga el auricular el teléfono envía una señal a la OC. Esta señal consiste en cerrar el circuito, es decir que internamente el teléfono conecta entre sí los dos cables de la línea telefónica a través de una resistencia eléctrica.

Apenas la OC se da cuenta de esto envía tono de marcado al teléfono. Este tono de marcado le indica al abonado que ya puede marcar el número.

En gran parte de América el tono de marcado consiste en dos ondas senoidales enviadas simultáneamente. Estas ondas son de 350 Hz y 440 Hz. En Europa el tono de marcado consiste en una sola onda de 425 Hz. Sin embargo hay países en los que estos valores podrían ser diferentes.

*Nota: Cuando era adolescente acostumbrábamos a afinar la guitarra escuchando el tono de marcado del teléfono pues resulta que 440 Hz es la frecuencia de la nota musical LA que corresponde a la quinta cuerda de la guitarra.*

### Marcación

La marcación puede ser por pulsos o por tonos. Los pulsos ya casi no se usan y fueron populares en los tiempos de los teléfonos de disco. Los tonos son pares de frecuencias asociadas con los dígitos telefónicos. Estas frecuencias se transmiten hasta la OC quien traduce estos tonos a números.

Más adelante se explicará más de estos tonos bajo el título DTMFs.

### Conmutación

Una vez recibido los dígitos la OC tratará de asociar este número marcado con el circuito de un abonado. En caso de que el destinatario no fuere un abonado local, enviará la llamada a otro *switch* telefónico para su terminación.

## Timbrado o Ringado

Una vez que la OC encuentra al abonado destino tratará de timbrarlo (*ringing*). La señal de *ring* es una onda sinusoidal de 20 Hz y de 90 Voltios de amplitud.

*Nota: Si hemos sido observadores nos habremos dado cuenta de que la señal de ring tiene una amplitud considerable de 90 Voltios. Además recordemos que la línea ya tiene un componente adicional de Voltaje DC de 48 Voltios. Es por esta razón que si manipulamos los cables telefónicos desnudos en el preciso momento en el que llega una señal de ring podemos recibir una pequeña descarga eléctrica y pasar un buen susto.*

Adicionalmente a la señal de *ring* que la OC envía al destinatario también envía una notificación a quien originó la llamada. Este tono audible recibe el nombre de *ring-back* y consiste en dos ondas sinusoidales superpuestas de 440 Hz y 480 Hz. Estas ondas van intercaladas con espacios de silencio.

En caso de que el destinatario se encuentre ya en una llamada activa entonces en lugar del *ring-back* se devuelve un tono de ocupado a quien originó la llamada. Este tono de ocupado consiste en dos ondas sinusoidales superpuestas de 480 Hz y 620 Hz intercaladas con espacios de silencio de medio segundo.

Todos los lectores sin duda han escuchado un *ring-back* y un tono de ocupado alguna vez en sus vidas.

## Conversación

Si el destinatario decide contestar la llamada el teléfono cerrará el circuito telefónico (de la misma manera que ocurrió con el teléfono que originó la llamada en la etapa de descolgado). Esta señal le informará a la OC que el destinatario decidió contestar y completará la conexión. La llamada telefónica está finalmente en curso.

## **DTMFs**

Muchas veces es necesario enviar dígitos a través de la línea telefónica tanto para marcar como en medio de una conversación. Con esta finalidad se pensaron los DTMFs. DTMF es un acrónimo de *Dual-Tone Multi-Frequency*. Es decir que cada DTMF es en realidad dos tonos mezclados enviados simultáneamente por la línea telefónica. Esto se hace así para disminuir los errores.

A continuación una tabla ilustrando los pares de frecuencias para cada dígito.

	<b>1209 Hz</b>	<b>1336 Hz</b>	<b>1477 Hz</b>	<b>1633 Hz</b>
<b>697 Hz</b>	1	2	3	A
<b>770 Hz</b>	4	5	6	B
<b>852 Hz</b>	7	8	9	C
<b>941 Hz</b>	*	0	#	D

Como se puede ver en la tabla también hay correspondencias para los signos \* y # así como también para los caracteres A, B, C y D.

## El teléfono analógico

Es importante hablar de este componente importante de la red telefónica pues recordemos que su invención fue lo que marcó el desarrollo del negocio de la telefonía.

Es importante también hablar del teléfono analógico porque todavía es el tipo de teléfono más común en el planeta y porque la comprensión de su funcionamiento nos permitirá entender en el futuro algunos conceptos clave como por ejemplo el eco.

En realidad el teléfono, en su forma más básica, es un dispositivo sencillo compuesto de pocos componentes.

- Auricular
- Micrófono
- Switch para colgado/descolgado
- Convertidor de dos a cuatro hilos (también llamado híbrido)
- Marcador (dialer)
- Campana o dispositivo de timbrado

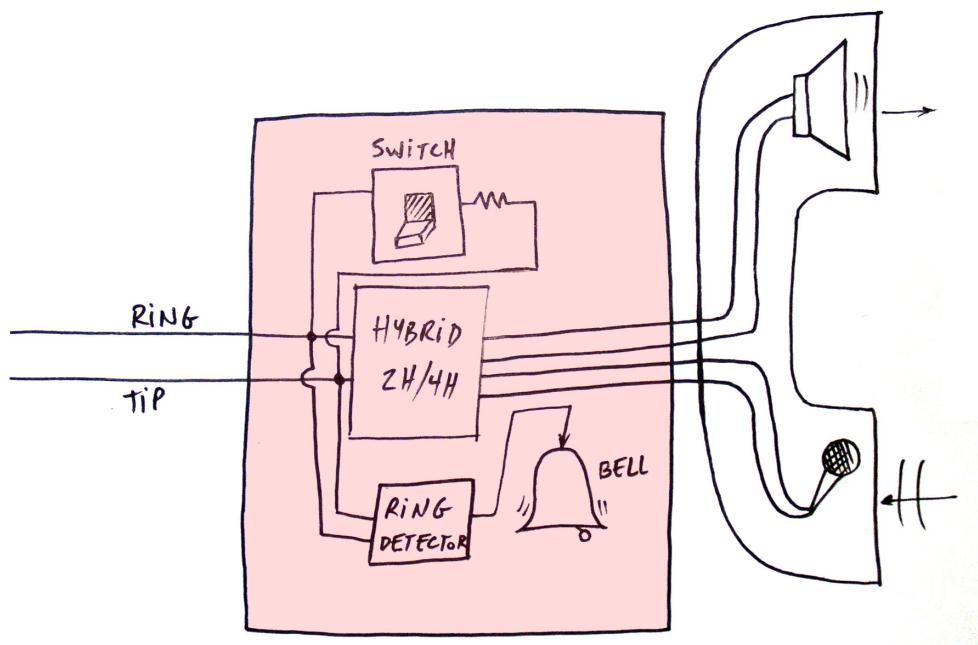


Diagrama de componentes de un teléfono

La mayoría de los componentes se explican por si solos. Sin embargo algunos se preguntarán de qué se trata el convertidor de 2 a 4 hilos?

### Convertidor de 2 a 4 hilos

Un componente importante de un teléfono es el convertidor de dos a cuatro hilos, conocido también como dispositivo 2H/4H, bobina híbrida o simplemente híbrido. Este dispositivo es necesario para separar la señal de audio de ida de la de venida ya que son dos participantes en una conversación y solo existe un par de cables para esto. Si existieran tres o cuatro cables (2 de ida y 2 de venida) el convertidor de 2 a 4 hilos no fuera necesario, pero esto probablemente incrementaría los costos de cableado y las compañías telefónicas prefieren lidiar con los problemas de acoplamiento que este convertidor introduce en lugar de incrementar sus costos.

En general no existe convertidor de 2 a 4 hilos perfecto ya que es muy difícil separar las señales de ida y de regreso completamente. Es por eso que este dispositivo históricamente ha sido una de las causas de eco en líneas telefónicas mal acopladas. Ya hablaremos de esto en el capítulo de “calidad de voz”.

## 1.8 Circuitos digitales

La PSTN también sirve a sus abonados con circuitos digitales. Estos circuitos ofrecen la ventaja de poder multiplexar más de una línea en el mismo medio por lo que resulta atractivo para abonados con necesidades de un gran número de líneas telefónicas, por lo general empresas.

### La base DS-0

Para decirlo simple, DS-0 es un canal digital de 64Kbit/s. Un DS-0 es por tanto una medida de canal estándar o unidad que nos sirve para definir múltiplos mayores como los circuitos que veremos a continuación.

### Circuitos T-carrier y E-carrier

Los circuitos T-carrier (o portadora-T) fueron diseñados como nomenclatura para circuitos digitales multiplexados y fueron desarrollados por Bell Labs hace más de cincuenta años. Los circuitos E-carrier son la equivalente europea.

El más conocido de los circuitos T-carrier es el popular T1 (y su contraparte E1). Un T1 es un circuito digital compuesto de 24 DS-0's mientras que un E1 está compuesto por 32 DS-0's. Si hacemos las matemáticas notaremos que un T1 trafica 1.544 Mbit/s mientras que un E1 2.048 Mbit/s.

Luego de los T1's tenemos múltiplos mayores como T2, T3, T4 y T5.

### SONET y Circuitos Ópticos

SONET (*Synchronous optical networking*) fue desarrollado con el objetivo de contar con una nomenclatura similar a las T-carrier pero usando la tecnología de fibra óptica. SONET utiliza múltiplos de T3 para sus anchos de banda y su circuito base es el llamado OC-1.

Luego del OC-1 tenemos los OC-3, OC-12, OC-24, OC-48, entre otros.

## 1.9 Protocolos de Señalización Digital

Los protocolos de señalización se utilizan para transmitir información de estado del canal de comunicaciones (como “desconectado”, “timbrando”, “respondido”), información de control y otra información como DTMFs, caller ID, entre otros.

Los protocolos de señalización se pueden agrupar en dos tipos llamados CAS (*Channel Associated Signaling*) y CCS (*Common Channel Signaling*). La diferencia es que mientras CAS transmite la señalización en el mismo canal en que viaja la información, CCS la transmite en un canal separado. Por este hecho es que con CAS se reduce ligeramente el ancho de banda disponible o útil para la comunicación ya que una parte de él se está usando para señalización. Esa es una de las razones por las cuales las compañías telefónicas han adoptado en su mayoría CCS.

**Nota:** *No confunda el lector CAS y CCS con protocolos de señalización. Tan solo son tipos de protocolos que se explican aquí para hacer más fácil la categorización o agrupación de los mismos.*

## Señalización Asociada al Canal (CAS)

El protocolo CAS más conocido es *robbed-bit* y es usado en circuitos T1 y E1 alrededor del mundo.

*Robbed-bit* toma (o “roba”, de allí su nombre) el octavo bit de cada canal de comunicación cada seis *frames* y lo reemplaza por información de señalización. El bit original robado simplemente se pierde.

Hay que notar de lo anterior que esto es posible debido a que la voz no es muy sensible que digamos a la pérdida de ese bit de información ya que es el bit menos significativo. Pero cuando transportamos data la pérdida de un bit no puede pasar desapercibida y la calidad de la transmisión se degrada de manera sensible.

Otro protocolo CAS que aún subsiste en nuestros días es R2. Se trata de un protocolo que fue popular en los años 60s. En realidad R2 es una familia de protocolos en donde cada implementación se denomina “variante”. Existen variantes dependiendo del país o inclusive de la compañía telefónica que lo ofrece.

Al momento Elastix soporta este protocolo a través de la librería Unicall. Sin embargo en el futuro se espera soportar la implementación del proyecto openR2 desarrollado por el mexicano Moisés Silva.

## Señalización de Canal Común (CCS)

## ISDN

ISDN (*Integrated Services Digital Network*) nos permite transmitir voz y datos simultáneamente sobre pares telefónicos de cobre con calidad superior a las líneas telefónicas analógicas.

El objetivo de ISDN fue el de facilitar las conexiones digitales para poder ofrecer una amplia gama de servicios integrados a los usuarios. ISDN establece dos tipos de interfaces para cumplir con este fin.

- BRI: Basic Rate Interface
- PRI: Primary Rate Interface

BRI estuvo orientada a hogares. Un BRI supone 2 canales útiles (también llamados canales B) de 64Kbit/s cada uno más un canal de señalización de 16Kbit/s (también llamado canal D) que en total suman 144Kbit/s.

BRI estaba llamado a ser un estándar popular en hogares pero no fue así del todo y tuvo muy poca acogida en este segmento del mercado en los Estados Unidos. En Europa la situación fue diferente y es utilizado en muchos países de este continente.

PRI es la opción para usuarios de mayor envergadura como negocios o empresas pues puede aglutinar más canales B. Actualmente es muy popular y se transmite sobre circuitos T-carrier y E-carrier.

# 2

## Introducción a la VoIP

*Yo no hice nada por accidente, ni tampoco fueron así mis invenciones;  
ellas vinieron por el trabajo*  
-- Thomas Edison

La voz sobre IP o VoIP consiste en transmitir voz sobre protocolo IP.

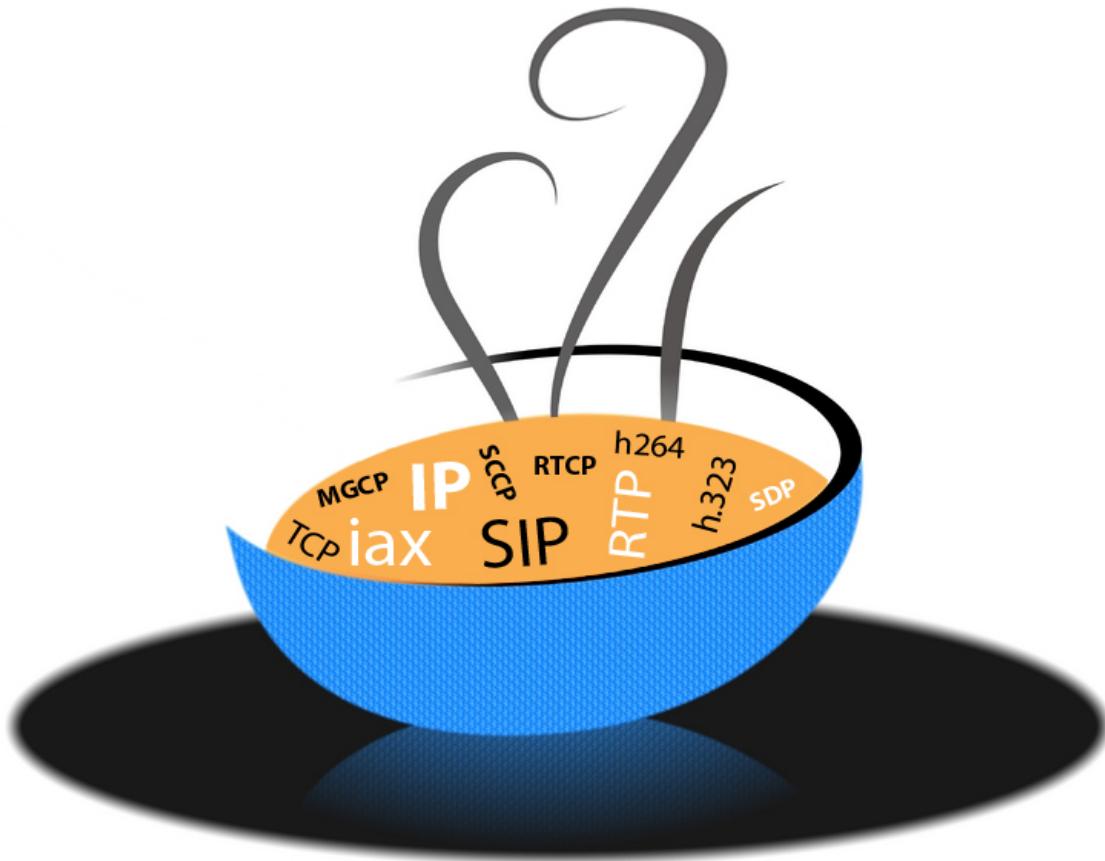
Dicho así puede sonar simple pero las redes IP fueron diseñadas principalmente para datos y muchas de las ventajas de las redes IP para los datos resultan ser una desventaja para la voz pues ésta es muy sensible a retardos y problemas de transmisión por muy pequeños que estos sean.

Por tanto transmitir voz sobre protocolo IP es toda una empresa con muchos problemas técnicos que resolver. Por suerte la tecnología ha evolucionado y la pericia de algunos ingenieros talentosos ha resultado en que podamos abstraernos en gran medida de aquellos problemas inherentes a las redes IP que perjudican la calidad de voz.

Solo hace pocos años me recuerdo haciendo uso de llamadas por Internet y puedo decir que la mejora de unos 10 años para acá ha sido notable. Ahora podemos decir que la transmisión de voz por Internet ya es una alternativa rentable al alcance de la mayoría de nosotros.

## 2.1 VoIP: una sopa de protocolos

Hay muchos protocolos involucrados en la transmisión de voz sobre IP. Ya de por sí hay protocolos de red involucrados como el propio protocolo IP y otros protocolos de transporte como TCP o UDP. Encima de ellos se colocan los protocolos de señalización de voz y como si esto fuera poco existen además muchas opciones de protocolos de señalización disponibles lo que puede hacer que todo suene un poco confuso al principio.



Sopa de protocolos VoIP

### Clasificando los protocolos VoIP

Para simplificar las cosas podríamos clasificar a los protocolos utilizados en la VoIP en tres grupos.

#### Protocolos de señalización

Los protocolos de señalización en VoIP cumplen funciones similares a sus homólogos en la telefonía tradicional, es decir tareas de establecimiento de sesión, control del

progreso de la llamada, entre otras. Se encuentran en la capa 5 del modelo OSI, es decir en la capa de Sesión.

Existen algunos protocolos de señalización, que han sido desarrollados por diferentes fabricantes u organismos como la ITU o el IETF, y que se encuentran soportados por Asterisk. Algunos son:

- SIP
- IAX
- H.323
- MGCP
- SCCP

Entre estos los más populares en el ámbito de Asterisk son SIP e IAX.

Entraremos en más detalles acerca del protocolo SIP más adelante en otro capítulo.

### Protocolos de transporte de voz

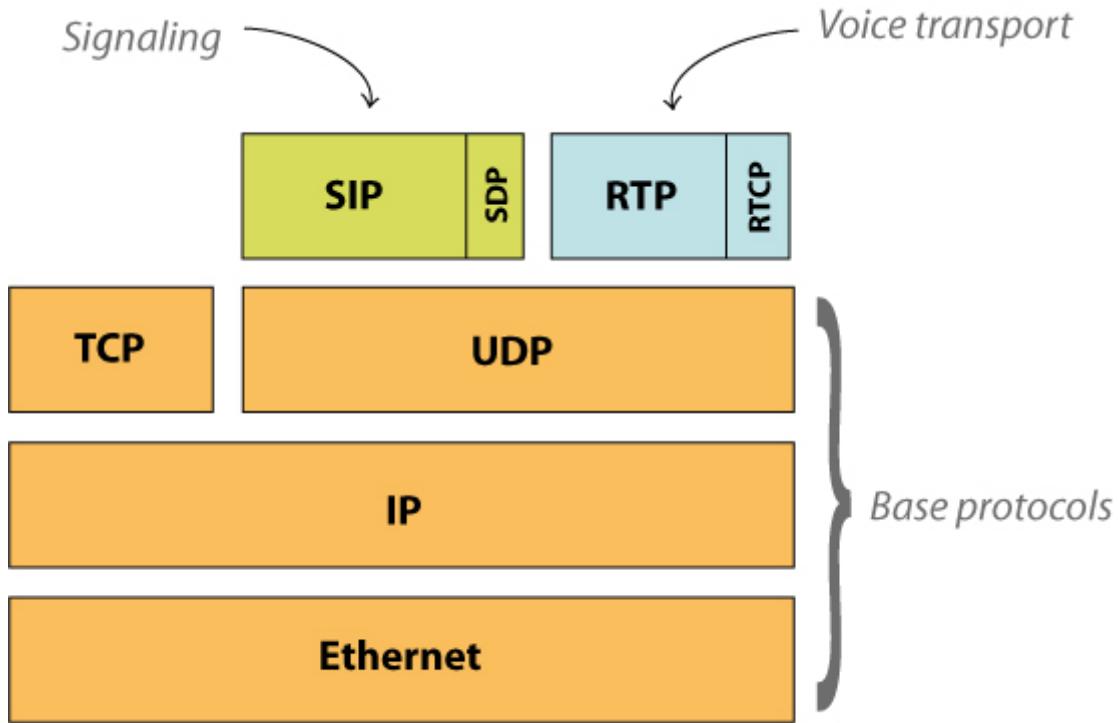
No se debe confundir aquí con protocolos de transporte de bajo nivel como TCP y UDP. Nos referimos aquí al protocolo que transporta la voz propiamente dicha o lo que comúnmente se denomina carga útil. Este protocolo se llama RTP (*Real-time Transport Protocol*) y función es simple: transportar la voz con el menor retraso posible.

Este protocolo entra a funcionar una vez que el protocolo de señalización ha establecido la llamada entre los participantes.

### Protocolos de plataforma IP

En esta categoría agruparemos a los protocolos básicos en redes IP y que forman la base sobre la cual se añaden los protocolos de voz anteriores. En estos protocolos podríamos mencionar a Ethernet, IP, TCP y UDP.

*Nota: En el presente capítulo pondremos más énfasis en explicar este grupo de protocolos con el objetivo de nivelar a quienes no tengan conocimientos sólidos en Networking. Sin embargo, los otros grupos de protocolos se revisarán con mucho más detalle en un capítulo especial dedicado a este fin.*



Protocolos involucrados en una llamada SIP. El caso de IAX es muy similar.

En la figura anterior podemos observar un hecho curioso y es que pese a que SIP soporta tanto UDP como TCP sólo lo vemos posado sobre UDP. No se trata de un error sino más bien que en Asterisk la implementación de SIP solo está disponible para UDP.

## 2.2 Protocolo IP

El protocolo IP sin duda es uno de los más populares jamás implementados, principalmente por el auge del Internet: La gran red de redes, que utiliza este protocolo para su enrutamiento. Por esta razón, antes de entrar en detalles acerca del protocolo IP emplearemos un par de párrafos a resumir los orígenes del Internet.

### El Internet

El Internet tuvo su origen en la década del 60 como un proyecto del Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el objetivo de crear una red robusta que conectara algunos organismos públicos con universidades. La idea de la red, que originalmente se llamó ARPANet, era que si alguno de los nodos quedaba fuera de funcionamiento esto no perjudicara significativamente a la red. Para esto se ideó una red descentralizada que pudiera manejar más de un camino entre dos de sus puntos. En resumen, se trataba de construir una red a prueba de fallos (recordemos también que eran épocas de la Guerra Fría) y de bajo coste.

Gracias a este enfoque ARPANet evolucionó hasta lo que hoy en día conocemos como Internet, una red de comunicaciones tan grande y poderosa que sin duda ha ejercido un impacto en nuestras culturas. Sin su existencia el proyecto Elastix no hubiera existido y no estarían leyendo esto ahora.

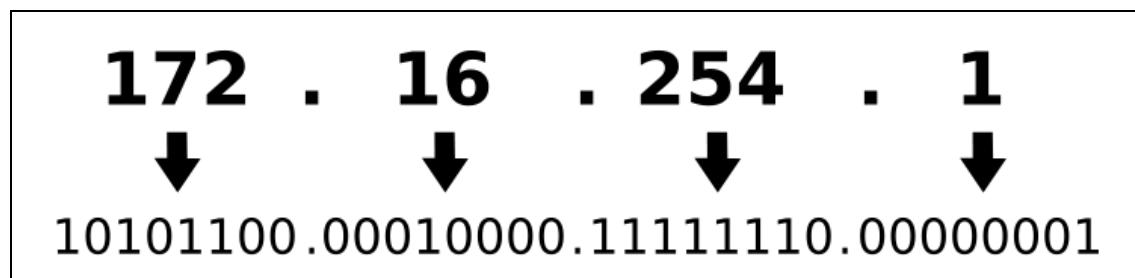
## Qué es el protocolo IP?

El protocolo IP (*Internet Protocol*) es un protocolo que trabaja a nivel de red donde la información se envía en paquetes llamados paquetes IP. Este protocolo ofrece un servicio “sin garantías” también llamado del “mejor esfuerzo”. Es decir que nada garantiza que los paquetes lleguen a destino, sin embargo se hará lo posible por hacerlos llegar.

## Dirección IP

Una dirección IP es un número único que provee además información de cómo ubicar al equipo que la posee. Para que este número sea único existe una autoridad que controla la asignación de direcciones IP llamada IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*).

Una dirección IP es un número binario que consta de 32 bits. Sin embargo, para fines prácticos y hacer que este número sea más entendible para los humanos casi siempre se representa en un formato de 4 números decimales separados por puntos. Cada uno de estos cuatro números puede tomar un valor de 0 a 255. Un ejemplo de dirección IP es 172.16.254.1



Traducción de notación decimal a binaria (32 bits) de una dirección IP

## Paquete IP

Como habíamos dicho antes el protocolo IP es un protocolo que divide la información en paquetes que envía a su destino y la ventaja de tener la información paquetizada es que estos paquetes pueden tomar diferentes caminos para llegar a destino. Es decir que hay redundancia de caminos y es menos probable que todos los paquetes se pierdan.

Bueno, bueno, pero... cómo lucen los famosos paquetes?

El formato de un paquete IP está diseñado para llevar información que permita diseccionarlo a su destino y obviamente que permita re-ensamblar los paquetes en destino para recuperar la información útil. A continuación una figura con una cabecera de paquete IP.

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
-----	-----	-----	-----
Version  IHL  Type of Service		Total Length	
-----	-----	-----	-----
Identification	Flags	Fragment Offset	
-----	-----	-----	-----
Time to Live	Protocol	Header Checksum	
-----	-----	-----	-----
	Source Address		
-----	-----	-----	-----
	Destination Address		
-----	-----	-----	-----
Options		Padding	
-----	-----	-----	-----

Cabecera de un paquete IP

## Direccionamiento IP

El direccionamiento o (enrutamiento) permite determinar la ruta óptima para que un paquete IP llegue su destino. Para saber dónde quiere llegar un paquete dado hay que examinar la dirección IP de destino en el campo *Destination Address* de la cabecera de un paquete IP.

Los equipos que se encargan de enrutar los paquetes a su destino se llaman ruteadores y básicamente contienen tablas de rutas con información de cómo alcanzar otras redes. Por tanto, una vez que llega un paquete a un ruteador éste examina la dirección IP destino y trata de determinar a qué red pertenece esa dirección IP.

Determinar la red donde quiere llegar un paquete dado no es muy difícil puesto que esa información es parte de la dirección IP. Esto es porque cada dirección IP se podría dividir en dos partes: una parte que identifica a la red y otra que identifica al equipo (también llamado *host*).

Identificar cada una de estas partes no es tan trivial pues existen redes de diferentes tamaños y por tanto el número de bits que corresponden a la parte de la red y el número de bits que corresponden a la parte del *host* varían dependiendo del tamaño de la red y se regulan mediante un parámetro adicional llamado máscara de red.

## Máscara de red y cálculo de dirección de red

Veamos entonces cómo se obtiene la información de a qué red pertenece una dirección IP para que un ruteador pueda encaminar correctamente un paquete a destino.

La máscara de red es un número de 32 bits al igual que una dirección IP. Se llama máscara porque si se superpone a la dirección IP nos permite identificar cuál parte es la que corresponde a la dirección de red y cuál a la dirección del host.

Imaginemos que tenemos la dirección IP 130.5.5.26 con máscara 255.255.255.0. Para ilustrar cómo aplicar la máscara sobre la dirección IP convirtamos estos datos a binario.

		Network	Host
<b>IP Address</b>			
130.5.5.26	->	10000010.00000101.00000101.	00011010
255.255.255.0	->	11111111.11111111.11111111.	00000000
<b>Mask</b>			

Aplicación de máscara para obtener información de la red y *host*

Ahora podemos ver con más claridad que los números uno (1) en la máscara marcan el límite entre la parte de la red y la parte del *host* por lo tanto la dirección de red es (en binario):

10000010.00000101.00000101.00000000

Todos los números binarios a la derecha de la máscara se completan con ceros. Ah cierto, olvidamos volver a convertir la dirección de red anterior a decimal. Veamos qué obtenemos:

10000010.00000101.00000101.00000000 → 130.5.5.0

Lo que quiere decir que la dirección IP 130.5.5.26 pertenece a la red 130.5.5.0. Ahora el ruteador ya puede decidir hacia qué red enviar nuestro paquete IP.

## 2.3 Protocolos de transporte

**Nota:** No se debe confundir estos protocolos con el “protocolo de transporte de voz” RTP. RTP es un protocolo más especializado que incluso se monta sobre UDP (un protocolo que será explicado aquí). Los protocolos de transporte aquí cubiertos son de propósito general y reposan directamente sobre el protocolo IP.

## Protocolo TCP

Como ya habíamos dicho el protocolo IP no garantiza que los datos lleguen a destino. Solo hace su mejor esfuerzo para que lleguen.

Por lo tanto era necesario un protocolo que se encargue de controlar la transmisión de datos y por esta razón se diseñó lo que se llama *Transmission Control Protocol* o simplemente protocolo TCP. TCP es un protocolo de transporte que se transmite sobre IP.

TCP ayuda controlando que los datos transmitidos se encuentren libre de errores y sean recibidos por las aplicaciones en el mismo orden en que fueron enviados. Si se pierden datos en el camino introduce mecanismos para que estos datos sean reenviados.

Obviamente esto implica una carga extra de información en el flujo de datos ya que hay que enviar información de control adicional. Es por esto que TCP es un buen protocolo para control de sesiones pero no tan bueno para transmisión de datos en tiempo real. Por esta razón la voz en sí no se envía usando este protocolo. Sin embargo TCP juega un rol muy importante en muchos protocolos relacionados con un servidor Elastix.

TCP es quien introduce el concepto de “puerto” que no es otra cosa que una abstracción para poder relacionar los flujos de datos con servicios de red específicos (o protocolos de más alto nivel). Por ejemplo, el puerto 80 se asocia con el servicio de Web o el protocolo HTTP; el puerto 25 se asocia con el servicio de correo electrónico o protocolo SMTP.

## Protocolo UDP

UDP (*User Datagram Protocol*) es otro protocolo de transporte. Se diferencia con TCP en que a este protocolo no le importa si los datos llegan con errores o no y tampoco le importa si llegan en secuencia. La pregunta entonces es para qué sirve este protocolo?

Bueno, un protocolo de transporte no necesariamente tiene que garantizar que la información llegue a destino o llegue en secuencia. Esta es solo una característica extra. Es más o menos análogo a un servicio de transporte de mercancía. Imaginémonos una flota de motocicletas que ofrece el servicio de transporte en una ciudad e imaginémonos que le encomendamos a dicha flota la tarea de transportar un gran cargamento de

archivos de una oficina u otra. La compañía se encargará de dividir nuestro cargamento de archivos y distribuirlo en cantidades o paquetes que puedan ser transportados en sus vehículos. Hará lo necesario para que nuestro cargamento llegue a destino. Esto es en esencia el servicio de transporte. Sin embargo podemos escoger dos clases de servicio: una que garantiza que la mercancía llegue segura y otra que no. Estos dos tipos de servicio son análogos a los dos tipos de protocolos de transporte que estamos describiendo en este apartado UDP y TCP.

En fin, la cosa es que UDP divide la información en paquetes, también llamados datagramas, para ser transportados dentro de los paquetes IP a su destino.

Al no ser necesario incluir mucha información de control, el protocolo UDP reduce la cantidad de información extra en los paquetes por lo que es un protocolo más rápido que TCP y adecuado para transmisión de información que debe ser transmitida en tiempo real como la voz.

Es por esta razón que la voz en aplicaciones de VoIP es transmitida sobre este protocolo.

## 2.4 Codificación de la voz

Ya tenemos claro que para transportar la voz se utilizan algunos protocolos como SIP, IAX y otros como RTP o RTCP. Pero la voz es una onda analógica que necesita transformarse a digital en algún formato antes de ser transmitida.

Lógicamente podríamos tratar de transmitirla tal cual resulta de la conversión analógica-digital (ADC) pero resulta que nos encontramos en una red de paquetes así que debemos paquetizar esta información. Además si la transmitimos tal cual resulta de la conversión ADC desperdiciaríamos recursos de la red por lo que hace falta encontrar un formato óptimo.

Esa búsqueda de un formato óptimo generó algunas alternativas de formatos de transmisión llamadas *codecs*.

***Nota:** Los codecs realmente no son exclusivos de la VoIP pues también se usan en otros tipos de comunicaciones digitales.*

### Codecs

La palabra *codec* proviene de abreviar las palabras **CO**dificación y **DE**Codificación. Su función principal es la de adaptar la información digital de la voz para obtener algún

beneficio. Este beneficio en muchos casos es la compresión de la voz de tal manera que podamos utilizar menos ancho de banda del necesario.

Algunos *codecs*, soportados por Asterisk y comúnmente usados en comunicaciones de VoIP, son G.711, G.729, GSM, iLBC, entre otros.

Explicaremos brevemente tres de ellos.

### G.711

G.711 es uno de los *codecs* más usados de todos los tiempos y proviene de un estándar ITU-T que fue liberado en 1972. Viene en dos sabores llamados u-law y a-law. La primera versión se utiliza en los Estados Unidos y la segunda se utiliza en Europa.

Una de sus características es la calidad de voz debido a que casi no la comprime. Utiliza 64kbit/s, es decir un muestreo de 8 bits a 8kHz. Es el *codec* recomendado para redes LAN pero hay que pensarla dos veces antes de utilizarlo en enlaces remotos debido al alto consumo de ancho de banda.

El soporte para este *codec* ya viene habilitado en Elastix.

### G.729

También se trata de una recomendación ITU cuyas implementaciones ha sido históricamente licenciadas, o sea que hay que pagar por ellas.

La ventaja en la utilización de G.729 radica principalmente en su alta compresión y por ende bajo consumo de ancho de banda lo que lo hace atractivo para comunicaciones por Internet. Pese a su alta compresión no deteriora la calidad de voz significativamente y por esta razón ha sido ampliamente usado a través de los años por muchos fabricantes de productos de VoIP.

G.729 utiliza 8kbit/s por cada canal. Si comparamos este valor con el de G.711 notaremos que consume 8 veces menos ancho de banda, lo cual a simple vista es un ahorro de recursos significativo.

**Nota:** Existen variaciones de G.729 que utilizan 6.4kbit/s y 11.8kbit/s.

Para habilitar canales G.729 en Elastix hay que comprar una licencia por cada canal. Esto se puede adquirir en el sitio Web de Digium.

## GSM

Muchas personas suelen preguntar si el *codec* GSM tiene algo que ver con el estándar de comunicaciones celulares y la respuesta es que sí.

El estándar que define la tecnología celular GSM (*Global System for Mobile communications*) incluye este *codec*.

La ventaja de este *codec* también es su compresión. Acerca de la calidad de voz... bueno, ya habremos hablado por un celular GSM alguna vez.

GSM comprime aproximadamente a 13kbit/s y ya viene habilitado en Elastix.

## **2.5 Sobrecarga de protocolos**

Como ya vimos, para transportar la voz de un lugar a otro, en una red de paquetes, necesitamos la ayuda de algunos protocolos; pero ya nos habremos dado cuenta de que estos protocolos transmiten data adicional que ocupa ancho de banda extra a la voz propiamente dicha. Algunos de ellos son Ethernet, IP, UDP, RTP.

En resumen esto hace que el ancho de banda real para transmitir voz sea mayor al del *codec*.

Por ejemplo, para transmitir voz usando G.711 en teoría deberíamos usar 64Kbps (peso del *codec*) pero en realidad usamos 95.2Kbps de BW. En otros *codecs* más compresores la sobrecarga es incluso más significativa (porcentualmente hablando).

Hagamos un ejercicio sencillo usando como ejemplo G.711. Veamos la siguiente figura para ilustrar mejor el ejercicio.

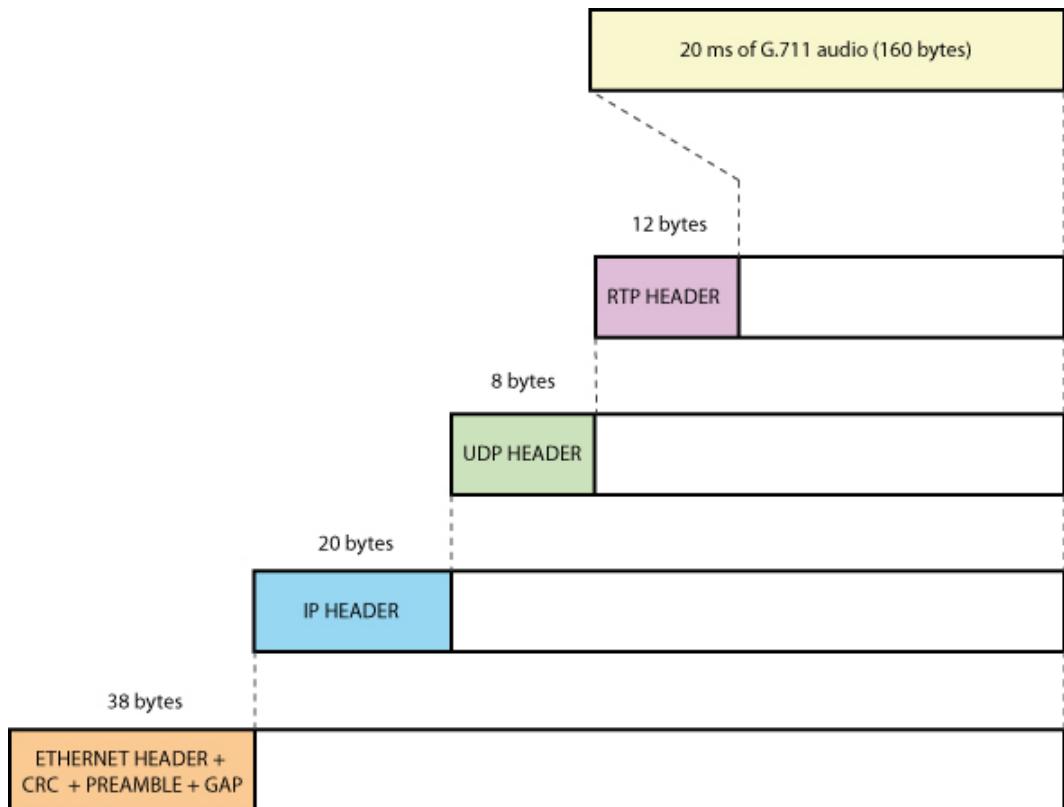


Ilustración de la sobrecarga de protocolos usando G.711

Calculemos el ancho de banda para G.711 basándonos en la figura anterior, la cual nos muestra el desperdicio de cada protocolo. Sumemos ahora todos estos bytes enviados.

Bytes transmitidos cada 20ms =  $38 + 20 + 12 + 8 + 160 = 238$  bytes

Bits transmitidos cada 20ms =  $238$  bytes \* 8 bits/byte = 1904 bits

Bits transmitidos cada segundo = 1904 bits/frame \* 50 frames/seg. = 95,200 bits/segundo = **95.2Kbps!**

## Comparativa de *codecs*

A continuación una tabla que muestra el *overhead* para algunos de los *codecs* más populares soportados por Asterisk.

Codec	Ancho de banda códec	Ancho de banda real Ethernet	Porcentaje de overhead
G.711	64 Kbps	95.2 Kbps	48.75%
iLBC	15.2 Kbps	46.4 Kbps	205.26%
G.729A	8 Kbps	39.2 Kbps	390%

Si el lector está interesado en cálculos de ancho de banda real para otros codecs, le recomendamos el siguiente vínculo: <http://www.newport-networks.com/pages/voip-bandwidth-calculator.html>