

Introducción

La voz sobre redes IP, VoIP (Voice over IP), inicialmente se implementó para reducir el ancho de banda mediante compresión vocal, aprovechando los procesos de compresión diseñados para sistemas celulares en la década de los años 80; de esta forma se logró reducir los costes en el transporte internacional de llamadas.

Actualmente los sistemas VoIP son ampliamente utilizados en redes de datos de ámbito local LAN e Internet, lo que transforma nuestro PC en un terminal telefónico con la adición de un micrófono y auriculares. La tendencia natural de los sistemas de voz sobre IP es que las llamadas puedan ser cursadas entre redes IP y redes telefónicas tradicionales, pasando de esta forma a denominarse la VoIP como IP-Telephony.

Contenido

Ventajas e inconvenientes de la telefonía IP
Diferencias fundamentales entre las redes de voz y las redes de datos
Arquitectura de redes VoIP
Recomendación H.323
Calidad de servicio
Costos

Objetivos

- ▶ Establecer las diferencias fundamentales entre las redes de voz y las redes de datos.
- ▶ Conocer la arquitectura en la que se basan las redes de voz sobre IP VoIP.
- ▶ Describir los elementos que forman las redes VoIP. Descripción de terminales, gateway y gatekeeper.
- ▶ Familiarizarse con la norma H.323, que tiene como objetivo definir un estándar para las comunicaciones multimedia sobre redes que no aseguran calidad del servicio.
- ▶ Ver la importancia del aseguramiento de la calidad de servicio (QoS) en los sistemas VoIP.

15.1 Ventajas e inconvenientes de la telefonía IP

En los temas anteriores se han tratado los aspectos relativos a las técnicas de conmutación telefónica analógica y digital que se han empleado durante años.

Dichas técnicas se crearon para permitir el **enrutamiento de las llamadas de voz y hacer posible las comunicaciones a larga distancia**, aunque fueron avanzando con el fin de adaptarse a exigencias tales como velocidad de conmutación, disminución de tamaño de los equipos de conmutación, aumento del número de usuarios, diversidad de la información a transmitir, etc. De forma que en la actualidad es posible la transmisión de información a través del sistema telefónico de forma indistinta tanto de voz como de datos, ya que ambos se tratan de la misma manera.

No obstante, y a pesar del gran avance tecnológico sufrido desde que surgieron las técnicas de conmutación analógica iniciales hasta las modernas técnicas de conmutación digital, ambas comparten dos importantes aspectos en común. Por una parte el enrutamiento de las llamadas telefónicas se basa en una **numeración estática (número telefónico) que se asocia a la localización geográfica de los usuarios** y por otra se establece un **circuito de comunicación único y reservado** para cada canal de información (ya sean canales analógicos o canales digitales MIC) que se activa al inicio de la comunicación y se libera a la finalización de ésta.

15.1.1. Ventajas e inconvenientes de la conmutación basada en circuitos y la conmutación basada en paquetes

El establecimiento de un circuito de comunicación reservado para cada canal de comunicación tiene **grandes ventajas e inconvenientes** en lo que a la transmisión de voz se refiere.

Alguna de las ventajas son:

- Asegura la calidad de las comunicaciones, ya que los datos transmitidos viajan instantáneamente desde el origen hasta el destino sin sufrir retrasos.
- Se garantiza la entrega de la información.
- Se mantiene el secreto de las comunicaciones, ya que ningún otro usuario tiene la posibilidad de acceder al canal establecido.

Por otro lado, existe el siguiente inconveniente:

- Dedicación exclusiva y única de un circuito físico por cada canal de comunicación, lo que supone un desaprovechamiento del ancho de banda. Esto se traduce en un bajo rendimiento por circuito que puede aumentarse significativamente si empleamos técnicas de conmutación alternativas, como puede ser la conmutación de paquetes.

15.1.2. Tendencia hacia la conmutación de paquetes de voz

Llegados a este punto puede surgirnos una pregunta. Si las redes de conmutación de paquetes presentan tantas ventajas, ¿por qué no se utilizan en la actualidad para las llamadas telefónicas?

Algunos de los motivos son:

- Los paquetes de voz pueden perderse.
- No se tiene garantía de la entrega de todos los paquetes en el otro extremo de la comunicación.
- Pueden sufrir grandes retrasos en la entrega.

Si esto sucede en una comunicación telefónica, donde la característica que prima es la inmediatez de la transmisión de los datos, la conversación será defectuosa, apreciándose ruidos metálicos, retardos importantes, pérdida de información, etc. En definitiva, una baja calidad del servicio esperado.

Aun así, los problemas disminuyen a medida que avanza la técnica y poco a poco son más las redes de datos IP que integran conversaciones de voz y datos, lo cual posibilita la unificación de las estructuras físicas que lo soportan.

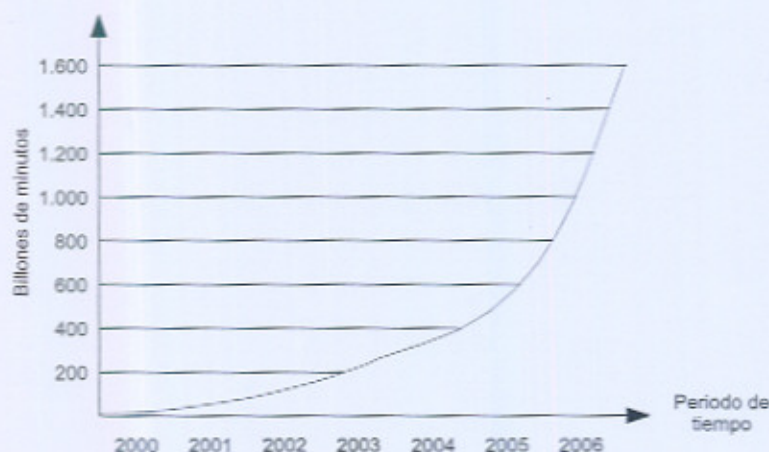


Figura 15.1. Crecimiento estimado en billones de minutos del uso de la telefonía basada en el protocolo IP.

La figura 15.1 muestra el incremento de minutos experimentado a partir del año 2000 en las conversaciones telefónicas a través de redes IP.

Hay que resaltar que dicho tráfico de voz es cursado principalmente en redes IP privadas. Estas redes tradicionalmente han presentado infraestructuras totalmente diferenciadas para voz y para datos.

En las infraestructuras de voz se incluyen los equipos para el enrutamiento de las llamadas (**centrales privadas de conmutación, PBX**) y el cableado necesario para tal fin.

El tratamiento de los datos se hace mediante sus equipos correspondientes (por ejemplo routers, hubs, switchs, etc.) y son cursados a través del cableado correspondiente.

En la actualidad la tendencia se dirige hacia soluciones integradas de voz y datos, soluciones que pasan directamente por emplear la tecnología VoIP.

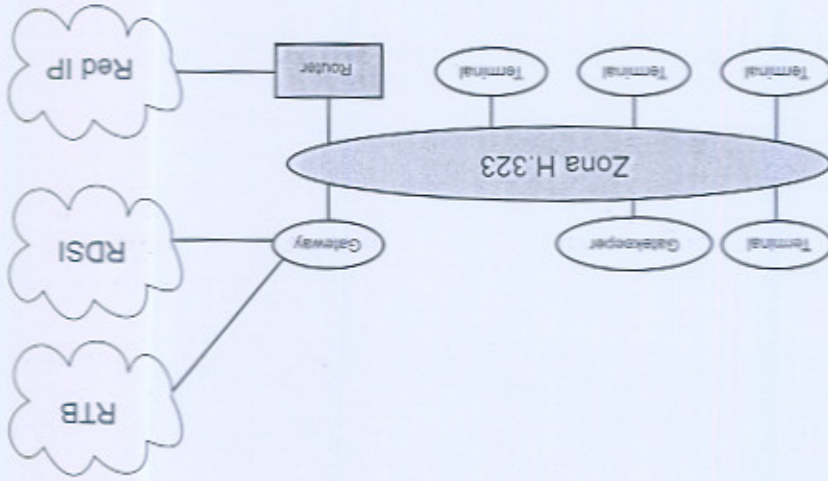
15.2 Diferencias fundamentales entre las redes de voz y las redes de datos

Las redes de voz y datos son esencialmente diferentes, las primeras presentan las siguientes características:

- Para iniciar la conexión es preciso realizar el establecimiento de llamada.

Las características más relevantes de estos sistemas se detallan a continuación.

Figura 15.2 Elementos existentes en una red de VoIP.



En la telefonía IP el cambio fundamental se produce en la red de enlaces, que se fundamenta ahora en una red basada en el protocolo IP; por ejemplo, podría ser la red INTERNET. En cuanto a la red de abonado (bucle local), se conserva el tradicional par de cobre, físicamente hablando.

Los elementos que forman parte integrante de la comunicación (según la recomendación H.323) se dividen en tres bloques, que son: terminales, gatekeepers y gateways.

15.3 Arquitectura de redes VoIP

- Se reservan recursos de la red (establecen circuitos de comunicación) durante todo el tiempo que dura la conexión.
- Se utiliza un ancho de banda fijo (típicamente 64 kbps por canal de voz en telefonía RDSI) que puede ser consumido o no en función del tráfico.
- Los precios generalmente se basan en el tiempo de uso y en la distancia a la que se encuentran los usuarios.
- Los proveedores están sujetos a las normas del sector y regulados y controlados por las autoridades pertinentes (en nuestro caso, el Ministerio de Fomento y la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones).
- El servicio debe ser universal para todo el ámbito estatal.
- Por el contrario, las redes de datos, basadas en la conmutación de paquetes, se identifican por las siguientes características:
 - Para asegurar la entrega de los datos se requiere el enrutamiento por paquetes, sin que sea necesario el establecimiento de llamada.
 - El consumo de los recursos de red se realiza en función de las necesidades, sin que, por lo general, sean reservados siguiendo un criterio de extremo a extremo.
 - Los precios se forman exclusivamente en función de la tensión competitiva de la oferta y la demanda.
 - Los servicios se prestan de acuerdo a los criterios impuestos por la demanda, variando ampliamente en cuanto a cobertura geográfica, velocidad de la tecnología aplicada y condiciones de prestación.

Sabías que:

- Marcación por tonos (DTMF) o pulsos.
- Envío y recepción de fax.
- Soporte de conexión de módems.
- Llamada en espera.
- Transferencia de llamada.
- Conferencia.
- Identificación de llamada (Calle ID).
- Correo de voz.
- Etcétera.

Las plataformas de VoIP no sólo deben transportar voz, sino que además deben implementar servicios de la telefonía como:

15.3.1. Terminales

Como terminales, debemos entender el equivalente a los teléfonos actuales; dichos teléfonos pueden ser **teléfonos IP** o **teléfonos convencionales**.

Las **funciones de los terminales IP** deben incluir el tratamiento necesario de la señal para su envío por la red de datos, es decir deben realizar la captación, digitalización y compresión de la señal de voz de forma que la carga a soportar por toda comunicación esté repartida entre los diversos terminales.

Existen principalmente dos tendencias en este tipo de elementos, **terminales hardware** y **terminales software**.

Los **terminales hardware** tienen una apariencia y funcionalidad de cara al usuario muy similar a la de los teléfonos actuales, lo cual permite eliminar la desconfianza inicial que puede producir el cambio. La gran diferencia a primera vista de este tipo de terminales es que se conectan directamente a la red de datos IP sin tener que habilitar rosetas de voz para dichas comunicaciones, como sucede en las instalaciones de voz y datos tradicionales.

Un esquema de conexionado puede verse en la figura 15.3.

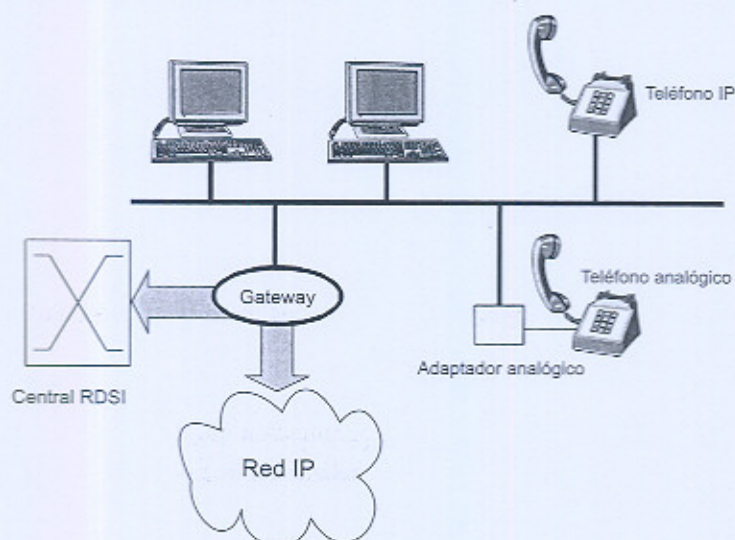


Figura 15.3. Interconexión de terminales a red IP.



Figura 15.4. Terminales HW VoIP.

Se observa en la figura 15.3 que los terminales analógicos deben conectarse a la red IP mediante adaptadores IP.

Por otro lado, los **terminales software** ejecutándose en nuestro ordenador personal pueden producir un mayor rechazo inicial en el usuario, pero las capacidades del software pueden ser muy superiores (figuras 15.5 y 15.6).



Figura 15.5. Aplicación software VoIP.



Figura 15.6. Aplicación software VoIP para PDA.

Las soluciones software existentes en el mercado son de muy diverso tipo y están en continuo desarrollo.

Un terminal software, sin un incremento de costes importante, puede ofrecer al usuario características muy diversas, entre las que podemos señalar:

- Agenda compartida y personal.
- Buzón de voz con características de programación muy superiores a las actuales.
- Manejo remoto del propio equipo con realización de tareas automáticas.
- Organizador de llamadas.
- Rellamada automática.
- Funciones de reconocimiento de voz.

Además, el precio de adquisición puede ser mucho menor que el de los terminales IP hardware, ya que tan sólo es necesario adquirir la aplicación software e instalarla en nuestro PC, con lo que se elimina el coste de adquisición de los terminales físicos.

15.3.2. Gateway

Podemos decir que existen tres tipos de llamadas de voz sobre IP, **llamadas de PC a PC**, **de PC a teléfono** y **de teléfono a teléfono**, siendo las pasarelas (**gateways**) los dispositivos encargados de enlazar la red VoIP con la red telefónica tradicional basada en la conmutación de circuitos.

De esta forma, puede considerarse al gateway como un sistema que por un lado dispone de **interfaces LAN o WAN** (los cuales se conectan directamente a la red de datos IP) y por el otro de varias **interfaces RTB**, **accesos básicos** y **accesos primarios RDSI**, **conexiones a centralitas analógicas** y **RDSI**, etc.

En general los GATEWAYS tienen que implementar las siguientes funciones:

- **Establecimiento y terminación de llamadas.** Dichas funciones se ocupan básicamente de la detección del descuelgue y cuelgue del terminal telefónico por parte del usuario.
- **Identificación, procesamiento e interpretación de los eventos generados** por los usuarios o los terminales relacionados con el servicio telefónico prestado. Por ejemplo, uno de los eventos generados por el terminal de abonado son los tonos DTMF (multifrecuencia) que producen los teclados telefónicos convencionales.

Dentro de un gateway podemos encontrar diversos microprocesadores y DSP que se encargan de adaptar la telefonía tradicional al tráfico IP.

Por una parte, los procesadores digitales de señal (DSP) realizan la compresión de voz, detección y generación de tono, cancelación de eco, supresión de silencios, etc.

Por otra parte, los microprocesadores se encargan de implementar los protocolos de telefonía, de red, realizan el control y gestión, así como enrutado de las llamadas y las tareas de facturación propias de las centrales de conmutación telefónica tradicionales.

El proceso que se desencadena durante una llamada de voz sobre IP se inicia en el DSP y comienza con la digitalización mediante técnica PCM de la señal de voz analógica. Posteriormente se analiza la ráfaga de bits PCM con el fin de eliminar ecos y silencios y llevar a cabo la detección de tono. Una vez hecho esto, los tonos de señalización detectados se dirigen al CODEC.

El CODEC lleva a cabo la compresión y codificación de la ráfaga PCM, la norma G.711 genera un flujo de 64 kbit/s, la G.729 un flujo de 8 kbit/s y la G.723 uno de 6,3 kbit/s (5,3 kbit/s según la norma estadounidense).

Empleando la compresión G.729 obtenemos una calidad muy aceptable con retardos del orden de 30 ms, obteniendo tramas de 10 ms de longitud. A continuación el software de ensamblado de paquetes toma las tramas del CODEC y crea paquetes a los que añade una cabecera de 12 bytes correspondiente al Real Time Protocol (RTP) que proporciona un número de secuencia que sirve como marca temporal.

El paquete se dirige ahora al microprocesador de la pasarela, donde se lleva a cabo en primera instancia el direccionamiento. Los dígitos identificados por el detector de tono del DSP se utilizan para determinar el número destino al que se le asigna una dirección IP, estableciéndose una llamada en el caso de que el destino esté libre.

Al paquete se le añade una cabecera IP de 20 bytes con la dirección IP de la pasarela origen y la dirección IP de la pasarela destino; por último se añade una cabecera UDP de 8 bytes con los sockets de origen y destino.

Una vez el paquete llega a su destino, se lleva a cabo la reproducción, para la cual se eliminan en el microprocesador las cabeceras IP y UDP, se encamina el paquete al DSP donde se elimina la cabecera RTP y finalmente se desensambla el paquete dejando libres las tramas de voz.

15.3.3. Gatekeeper

Los gatekeepers deben sustituir a las actuales centrales de conmutación telefónica, siendo normalmente soluciones software, aunque en realidad pueden convivir perfectamente con ellas si la configuración de la red así lo determina.

Dentro del esquema de VoIP, la funcionalidad principal que debe ofrecer todo gatekeeper se basa en el control de llamadas y gestión del sistema de direccionamiento, pero el conjunto de tareas puede ser el más importante de todo el sistema.

Aunque los terminales pueden conectarse directamente sin intervención del gatekeeper, este tipo de funcionamiento es muy limitado y difícil para el usuario.

La potencia real del sistema se pone de manifiesto cuando dentro de cada zona H.323 existe el correspondiente gatekeeper. Todo terminal, antes de realizar una llamada, debe consultar con el gatekeeper si ésta es posible; una vez obtenido permiso, el gatekeeper es quien realiza la traslación entre el identificador de usuario destino y la dirección IP equivalente. Establecida la comunicación entre los terminales, el gatekeeper no necesita intervenir, con lo que la carga del sistema se reparte entre los terminales.

Todo este proceso se inicia con el registro de los diversos terminales durante la iniciación de éstos, de esta forma no tenemos ningún problema de movilidad de los diversos puestos y usuarios, incluso los distintos terminales pueden obtener direcciones dinámicas mediante DHCP. Este registro permite realizar la traslación antes señalada entre los identificadores de usuario y su localización física de forma automática.

Es la responsabilidad principal del gatekeeper mantener un control de todo el tráfico generado por las diversas comunicaciones, a efectos de mantener un nivel aceptable de saturación de la red. El control de ancho de banda permite al administrador fijar un límite de utilización, por encima del cual se rechazan las llamadas bien sean internas o externas.

Otro aspecto importante que debe manejar el gatekeeper es el enrutamiento de las llamadas, de esta forma, el propio gatekeeper puede redireccionar las llamadas al gateway más indicado o elegir un nuevo destino si el original no está disponible.

En cuanto a otras capacidades añadidas, podemos pensar en el control de costes de llamadas, control de centros de atención al cliente, etc.

15.4 Recomendación H.323

La recomendación H.323 nos proporciona el estándar necesario para que la evolución de la voz sobre IP sea común entre los diversos fabricantes, de esta forma los usuarios no deben preocuparse por compatibilidad, ni es necesario elegir una u otra opción.

Esta especificación, aprobada en 1996 por el ITU (International Telecommunications Union) y revisada en enero de 1998, tiene como objetivo definir un estándar para las comunicaciones multimedia sobre redes que no aseguran calidad del servicio.

Como logros principales de esta recomendación podemos señalar:

- La estandarización de los protocolos permite a los diversos fabricantes evolucionar en conjunto.
- Los usuarios no deben preocuparse sobre las posibilidades de su interlocutor, existiendo una negociación de las capacidades de cada punto de la línea.
- Debido a su apoyo sobre IP es independiente del tipo de red física que lo soporta, permitiendo la integración con las grandes redes IP actuales.
- Por su propia estructura, es independiente del hardware, si bien permite ser implementado en los ordenadores actuales; también se desarrolla hardware específico, como teléfonos IP y consolas de videoconferencia.
- Otra característica importante es el control de tráfico que se puede realizar dentro de la red. De esta forma no deben producirse caídas importantes de rendimiento en las redes de datos.
- La negociación previa permite conectar terminales de muy diversas características, como pueden ser teléfonos de voz, consolas de videoconferencia, ordenadores, etc.

15.5 Calidad de servicio

Una magnitud fundamental a la hora de dimensionar un sistema de comunicaciones de VoIP es la medida del retardo.

Analizando los diversos tramos de transmisión en la red IP, y utilizando una compresión según G.729, se obtienen retardos del orden de 90 ms para cada sentido de comunicación (figura 15.7).

Teniendo en cuenta que el máximo retardo permisible para garantizar una calidad de conversación adecuada se sitúa entre los 200 ms - 300 ms, podemos asegurar que estamos dentro de los márgenes deseados.

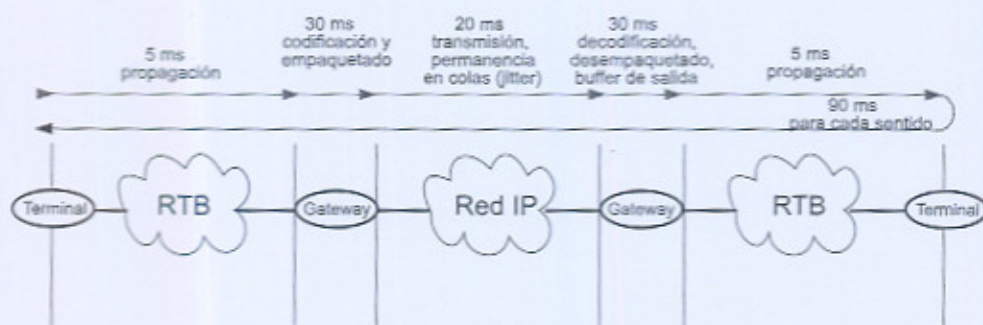


Figura 15.7. Retardos sufridos en una comunicación VoIP.

Actividad de Aplicación 1

Calcula el ancho de banda destinado a overhead, datos y el total que es necesario para la retransmisión de VoIP utilizando la norma G.729.



PROPUESTA DE SOLUCIÓN:

Sabemos que los paquetes VoIP están formados como se muestra a continuación:



Los paquetes de voz varían típicamente entre 80 y 256 bytes (en G.729 se envían típicamente 20 bytes por paquete).

El tamaño de la cabecera es de:

$$\text{TOTAL CABECERA} = \text{IP (20 bytes)} + \text{UDP (8 bytes)} + \text{RTP (12 bytes)} = 40 \text{ bytes}$$

Típicamente se envían muestras cada 20 ms, por tanto 50 paquetes en un segundo. Si el overhead de IP/UDP/RTP es 40 bytes = 320 bits, y la voz 20 bytes = 160 bits, tendremos un flujo de información de:

Ancho de banda overhead	320 bits de encabezados x 50 paquetes en un segundo = 16 kbps
Ancho de banda voz	160 bits en información de voz x 50 paquetes en un segundo = 8 kbps

Para preservar el resultado final relativamente libre de posibles errores que se puedan producir inherentes a la transmisión por conmutación de paquetes, los sistemas de VoIP cuentan con mecanismos de corrección de errores.

Los paquetes de voz se generan con una tasa constante mientras alguien está hablando, en cambio los dispositivos de red pueden provocar una cantidad impredecible de retardos entre paquetes. Estos saltos reciben el nombre de jitter y deben eliminarse en la pasarela receptora con el fin de reproducir fielmente el sonido, para ello en el DSP destino se utiliza un buffer adaptativo que minimiza la distorsión inducida por jitter.

Otro fenómeno común en la red debido a la congestión es la pérdida de paquetes. Cuando se produce esto, un algoritmo en el DSP lo detecta y reemplaza los paquetes perdidos por el último paquete correcto recibido disminuyendo su volumen, de este modo se evita que haya "huecos" en la trama de voz.

Del mismo modo, los protocolos de transmisión para la VoIP no garantizan la recepción en el orden correcto de los paquetes, por lo que al tomar éstos diferentes rutas por la red, pueden llegar desordenados. Cuando se detecta una situación de desorden, el paquete desordenado se reemplaza por su predecesor como si se hubiese perdido.



Sabías que:

En la telefonía tradicional se convierte un canal analógico de voz (4.000 Hz) en un flujo digital de 64 kbps. Enviar estos 64 kbps por las redes de datos saturaría los canales típicos en nuestro medio, por tanto se requiere de técnicas de compresión.

Se aplican tecnologías como:

- Supresión de silencios.
- Regeneración de ruido de fondo.
- Eliminación de redundancia.

Para una buena calidad se requiere que el retardo total extremo a extremo no exceda 150 ms.

NOMBRE	TECNOLOGÍA	REQUERIMIENTO (kbps)	CALIDAD	MUESTRA	PROCESAMIENTO COMPLEJIDAD
G.711	PCM	64	Red pública	0,125 ms	Bajo
G.723.1	ACELP MP-MLQ	5,4 6,3	Buena	30 ms 30 ms	Muy alto
G.727	ADPCM	40-16	Buena	0,125 ms	Bajo
G.728	LD-CELP	16	Buena	0,625 ms	Muy bajo
G.729	CS-CELP	8	Buena	10 ms	Alto
G.729A	CS-CELP	8	Buena	10 ms	Alto

Tabla 15.1. Tecnologías de codificación utilizadas.

Ejercicios



- 15.1 ¿Qué ventajas presenta la utilización de circuitos de comunicaciones para el transporte de conversaciones de voz?
- 15.2 ¿Cuáles son los inconvenientes de la utilización de técnicas de conmutación de paquetes para las comunicaciones vocales?
- 15.3 Detalla al menos tres diferencias entre una red de voz basada en conmutación de paquetes y una red de datos basada en conmutación de circuitos.
- 15.4 ¿Cuáles son las ventajas que presentan los teléfonos IP por software? ¿Qué dispositivos pueden soportarlos?
- 15.5 ¿Qué funciones implementan los GATEWAYS, grosso modo?
- 15.6 ¿Es posible establecer una comunicación telefónica convencional sin la intervención del GATEKEEPER?
- 15.7 ¿A qué elemento equivale el GATEKEEPER comparando una red de telefonía IP con una red de telefonía convencional?
- 15.8 ¿Cuáles son los principales logros de la recomendación H.323, que rige los sistemas VoIP?
- 15.9 ¿De qué forma se minimiza el problema de la pérdida de paquetes de voz en los sistemas VoIP?