



Universidad de Mendoza

Facultad de Ingeniería

Tesis de Maestría en Teleinformática

Guía para la toma de decisiones en Redes Unificadas

Ing. Pablo Daniel LINARES

Director de Tesis
Magíster Ing. Roberto de Rossetti

Mendoza, Agosto de 2007

Agradecimientos:

Quiero agradecer especialmente a Laura, por su incondicional apoyo, paciencia, confianza y amor. A Juli y Diego: mi vida.

A mis padres, siempre presentes y leales a mis propósitos.

Reconocimientos:

A mi Director de Tesis, Ing. Roberto de Rossetti por su aporte en la elaboración de este trabajo.

A mi amigo Mauricio Grispo, un referente fundamental por su criterio e idoneidad.

Al Ing. Martín Wiens, por su visión, su conocimiento y su inagotable espíritu de colaboración.

A mis compañeros de trabajo, que me brindaron su apoyo y confianza para poder concluir esta etapa de formación.

Por último, a la UTN Facultad Regional Mendoza, quien me formó, me permitió trabajar en sus aulas y facilitó la realización de esta maestría.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	OBJETIVOS	7
3	MARCO TEÓRICO	8
3.1	Visión de las comunicaciones desde la perspectiva de la comunidad de la Telefonía tradicional	9
3.1.1	Estándares de Telefonía	9
3.1.2	Como trabajan las PSTN	10
3.1.3	Componentes de la PSTN	11
3.1.3.1	Codificación de la voz	11
3.1.3.2	Los Switches de la PSTN	12
3.1.3.3	PBXs	14
3.1.3.4	Señalización	15
3.1.3.5	Teléfonos	17
3.2	VISIÓN DE LAS COMUNICACIONES DESDE LA PERSPECTIVA DE LA COMUNIDAD DE LAS REDES DE DATOS	17
3.2.1	Estándares de las Redes de Datos	18
3.2.2	Cómo funciona VoIP	18
3.2.3	Componentes de VoIP	19
3.2.3.1	Codecs	19
3.2.3.2	TCP/IP y Protocolo VoIP	21
3.2.3.3	Protocolos de VoIP	24
3.2.3.3.1	Protocolos de establecimiento de llamadas	24
3.2.3.3.2	Protocolos de Streaming de Voz	27
3.2.3.4	Servidores de telefonía IP y PBXs	29
3.2.3.5	Gateways VoIP, Routers y Switches	30
3.2.3.6	Teléfonos IP y Softphones	31
3.2.4	Calidad de voz en una red VoIP	32
3.2.4.1	Rendimiento de la Red antes de VoIP	33
3.2.4.2	Rendimiento en una red con VoIP	34
3.2.4.3	Medida de la calidad de voz en redes IP	35
3.2.4.4	Selección del Codec	36
3.2.4.5	Demora	38
3.2.4.6	Eco	39
3.2.4.7	Variaciones en la demora (Jitter)	39
3.2.4.8	Tamaño de los paquetes	41
3.2.4.9	Pérdida de datos	41
4	Beneficios e inconvenientes de la Unificación de Redes	43
4.1	AHORRO DE COSTOS	43
4.1.1	Ahorros en costos del servicio de red	45
4.1.2	Infraestructura simple de redes	47
4.2	OTROS BENEFICIOS	49
4.3	OBSTÁCULOS	50
4.3.1	Aspectos a considerar	50
4.3.2	Riesgos de Seguridad	52
5	PROPUESTA	53
	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	54
	IMPLEMENTACIÓN DE UN PILOTO	54
	REVISIÓN DE LOS RESULTADOS	54
5.1	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	55
5.1.1	Uso actual de la Telefonía	56
5.1.1.1	Registros del detalle de las llamadas	57
5.1.1.2	Estadísticas del Volumen de Llamadas	58
5.1.1.3	Análisis del flujo de llamadas	59
5.1.2	Confiabilidad	59
5.1.2.1	Confiabilidad de Hardware	64
5.1.2.2	Confiabilidad de Software	65

5.1.2.3	Confiabilidad de los enlaces de red y proveedores de servicios de red	66
5.1.2.4	Condiciones ambientales y suministro eléctrico	66
5.1.2.5	Diseño de la Red	67
5.1.2.6	Errores de usuarios y administración de procesos	68
5.1.3	Evaluación de la disponibilidad	70
5.1.3.1	Evaluación de la Configuración	71
5.1.3.2	Evaluación de la Utilización	72
5.1.3.3	Evaluación de la calidad de voz	74
5.1.3.4	Modelando el Ancho de Banda	75
5.2	IMPLEMENTACIÓN DE UN PILOTO	76
5.2.1	Aprender nuevas lecciones	77
5.2.2	Comienzo del Piloto	78
5.2.3	Evaluación del Equipamiento y los Sistemas	79
5.2.4	Linux como una PBX	79
5.3	CALIDAD DE SERVICIO	81
5.3.1	Clases de Servicios (CoS) y Calidad de Servicios (QoS)	82
5.4	EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE INTEGRACIÓN	82
5.4.1	Determinar cuantas líneas PSTN pueden ser eliminadas por el uso de la red de datos	86
5.4.2	Determinar los ahorros a causa de la reducción de líneas y uso de llamadas de larga distancia	87
5.4.3	Determinar el tipo de Codec a usar para digitalizar la voz y decidir si se usará compresión de RTP (Real Time Protocol)	87
5.4.4	Calcular el impacto sobre la capacidad de la WAN	89
5.4.5	Elegir el mejor codec en base a la calidad versus el impacto sobre la capacidad de la WAN	90
6	CONCLUSIONES	91
7	ANEXO I – Guía de pasos	93
8	ANEXO II – Análisis de tráfico	101
9	ANEXO III – Valoración del equipamiento	107
10	ANEXO IV: Medida de la calidad de voz en redes IP	110
10.1	MÉTODOS SUBJETIVOS	110
10.1.1	E-Model	111
10.1.1.1	Cálculo de Is	112
10.1.1.2	Cálculo de Id	114
10.1.1.3	Cálculo de le-eff	116
10.1.1.4	Cálculo de A	118
10.1.1.5	Relación de R y MOS	119
10.1.1.6	Aplicación del E-model	121
10.1.2	ITU-T P.862 (PESQ)	121
10.1.3	ITU-T P.563	123
11	ANEXO V: Protocolos para prestar el servicio VoIP con calidad de servicio adecuada [6]	126
11.1	Protocolo de transporte en tiempo real (RTP)	126
11.2	Protocolo de control de transporte en tiempo real (RTCP)	127
11.3	Protocolo de reservación de recursos (RSVP)	129
11.4	Protocolo de servicios diferenciados (protocolo DiffServ)	132
11.5	Protocolo de conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS)	135
11.5.1	Componentes del MPLS	136
11.5.2	LSR y LER	137
11.5.3	FEC	137
11.5.4	Etiquetas y asociaciones de etiquetas	138
11.5.5	Formato básico de etiquetas MPLS	138
12	BIBLIOGRAFÍA	139
13	ÍNDICE DE FIGURAS	141
14	ÍNDICE DE TABLAS	142

1 INTRODUCCIÓN [6]

Las telecomunicaciones, hasta la década de los 80, tenían como base fundamental la prestación de voz a través de las redes fijas. Todos los esfuerzos de los países se concentraban en lograr una mayor cobertura de servicios básicos; las redes de telecomunicaciones eran diseñadas para el transporte de voz y, en menor medida, para el transporte de datos, pero de una manera independiente y conservadora.

Con la aparición de Internet se da, en la década del 80 y principios de los 90, un cambio dramático y radical en el sector de las tecnologías de Información y telecomunicaciones, fundamentado en su facilidad de acceso y bajos costos. A partir de estos cambios, los centros de investigación y desarrollo y los proveedores de equipos vuelcan sus esfuerzos hacia Internet. De esta forma se le da un mayor protagonismo al protocolo IP o protocolo de Internet, el cual, a través de la digitalización y la conmutación de paquetes, vuelve una realidad la integración de servicios de voz, datos y video utilizando un mismo canal de comunicaciones.

Los desarrollos continúan aceleradamente en toda la década de los 90, y cada vez es más común oír sobre unificación y de empresas que ofrecen servicios de voz y datos a través del Internet, o simplemente usando redes IP.

En efecto, esta unificación de redes tiene en la actualidad un fuerte apoyo de los fabricantes de tecnología y como se muestra en la siguiente figura¹ la tendencia del mercado es apostar a esta integración.

¹ Fuente: Gartner Group, 2004

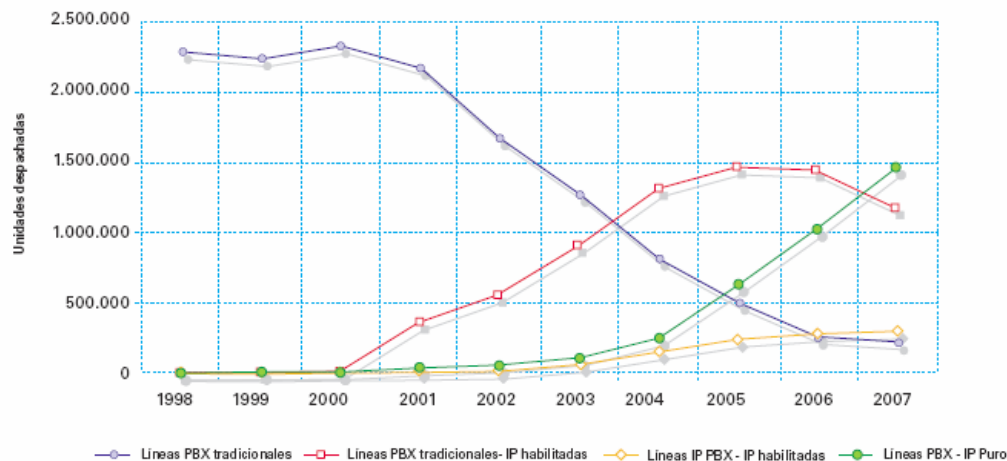


Figura 1: Situación de telefonía de VoIP en América Latina [20]

Naturalmente, América Latina no resulta ajena a esta tendencia; en la siguiente figura se expone la situación de telefonía de VoIP²

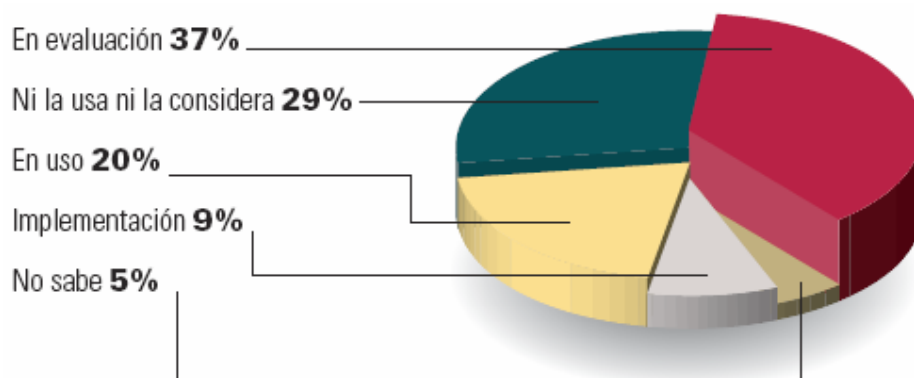


Figura 2: Situación de telefonía de VoIP en América Latina [20]

Como puede observarse, el mayor porcentaje de encuestados se encuentra en estado de evaluación de la tecnología. Es por esto que frente a la aparición de de este nuevo paradigma en las comunicaciones, se plantea la necesidad de saber -para quienes toman decisiones en las organizaciones- , si las nuevas tecnologías están suficientemente maduras como para iniciar un cambio en un elemento tan estructural. En oposición al cambio, está una tecnología ampliamente probada con una gran variedad de empresas de telefonía

² Fuente: IDC Latin America, "Latin America VOIP. The end users perspective 2004"

tradicional cuya reconocida trayectoria, genera vínculos con sus clientes que fomenta la lealtad de los mismos.

Desde mi experiencia como Jefe del Departamento de Tecnología y Comunicaciones del Poder Judicial de Mendoza, una de las tareas a desarrollar es la evaluación de nuevos proyectos de comunicaciones. Se plantea recurrentemente la necesidad de contar con herramientas que permitan justipreciar los mismos desde distintas perspectivas.

Estos proyectos conllevan una importante inversión, y además definen la forma en que se hará uso de las redes en no menos de 5 años (tiempo mínimo de amortización). Por este motivo, contar con una guía de análisis y estudio de factibilidad para una adecuada implementación, se torna un instrumento importante para la gestión y la toma de decisiones.

La unificación de redes es una realidad, están marcando una nueva tendencia en el modo de implementar y merece ser evaluada de acuerdo al actual contexto. Existe mucha documentación disponible, donde cada proveedor manifiesta su visión y cada enfoque, en algunos casos, refleja un matiz distinto sobre la misma tecnología. Por esta razón, este trabajo pretende proponer una guía de acción, que permita ordenar y sistematizar la información para incorporar nueva tecnología de procesamiento de la voz y los datos en las organizaciones.

2 OBJETIVOS

La propuesta del presente trabajo de tesis, es ofrecer una guía de pasos operativos, que brinde a quienes tienen la responsabilidad de definir proyectos de comunicaciones, una forma de proceder frente a posibilidad de optar por un servicio de voz y de datos unificado.

Para acceder a esta visión compleja de la situación planteada, establecemos como recorrido el abordaje de estos objetivos:

- Conocer el sustento teórico que posibilita la convergencia de las comunicaciones.

- Caracterizar la telefonía actual y el uso de datos como elementos separados con funcionamiento propio.
- Establecer ventajas y desventajas del uso unificado de ambas tecnologías
- Identificar los factores críticos de esta unificación para evaluar adecuadamente sus consecuencias dentro de la organización.
- Proponer acciones a seguir para abordar esta posible implementación tecnológica utilizando una guía de pasos.

3 MARCO TEÓRICO³

La integración de la voz y los datos no parece algo sencilla, y cabe preguntarse si existe alguna ventaja en realizar el intento. Las ventajas aparecen al analizar por los menos los siguientes tres aspectos:

El primer aspecto es económico: es posible ahorrar dinero al integrar las tecnologías. El segundo aspecto es de administración: es más sencillo administrar un único sistema que dos independientes. Ambos aspectos son importantes, y las Empresas, tanto desarrolladoras, como consumidoras de tecnología, están haciendo una fuerte apuesta a esta integración. El tercer aspecto, y quizás a nivel del usuario presente las ventajas más relevantes, tiene que ver con la mejora en las aplicaciones. Las nuevas tecnologías de unificación de redes permitirán a los usuarios disponer de facilidades que hasta hace un tiempo no eran posibles.

En las siguientes secciones se describirán las características principales de ambas tecnologías, sus componentes principales y protocolos.

³ El siguiente proceso descriptivo sustenta teóricamente el desarrollo del tema propuesto. Esto es, se expondrán y analizarán el estado del arte, las conceptualizaciones, las perspectivas y antecedentes generales necesarios para el correcto encuadre del estudio. Entendemos que esta propuesta teórica aportará al problema de la investigación un marco de referencia para interpretar los resultados obtenidos.

3.1 Visión de las comunicaciones desde la perspectiva de la comunidad de la Telefonía tradicional [1]

Los especialistas de la telefonía se acercan a la tecnología de comunicaciones con un perfil formado por la red telefónica tradicional, la PSTN (Public Switched Telephone Network). La red telefónica utiliza las conexiones por conmutación de circuitos, que significa que cuando se realiza una llamada, obtiene un circuito dedicado de un teléfono al otro, por algún medio que interconecta a ambos. El circuito dedicado típico a través de la PSTN involucra desde una conexión física a una conexión lógica la cual a veces implica el uso de varios switches. Cuando una persona habla por teléfono, un micrófono genera una transmisión analógica que es enviada a través del circuito.

Las décadas de conocimiento, experiencia, y la innovación han permitido a la PSTN lograr la calidad y la disponibilidad que hoy tiene. Cuando recoge un teléfono, se obtiene casi instantáneamente un tono de marcado, y al llamar a un número, el teléfono del destino empieza a sonar generalmente dentro de unos pocos segundos. Debido a que la PSTN es tan segura, las personas están raramente dispuestas a tolerar una reducción en la calidad o pérdida de llamadas, en todo caso su tolerancia es consecuencia de un beneficio adicional, tal como la proporcionada por teléfonos celulares.

El nivel de confiabilidad esperada de una PSTN es a veces referenciada como cinco nueves. Este término significa que la red entera debe estar disponible y funcionando el 99.999 por ciento del tiempo. Si se aplica este principio sobre el periodo de un año:

$$365 \text{ días} * 24 \text{ horas/día} * 60 \text{ minutos/hora} * 0.00001 = 5.256 \text{ minutos}$$

Cinco nueves significa que la red puede estar fuera de servicio por a lo sumo 6 minutos en el transcurso de un año.

3.1.1 Estándares de Telefonía

Una organización internacional que es parte de Naciones Unidas, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) juega el principal rol en la

estandarización de la tecnología de las PSTN. La ITU⁴ inicialmente proporcionó los estándares y los acuerdos para conectar los enlaces del telégrafo entre los países a comienzos del siglo XIX y ha evolucionado al día de hoy para supervisar muchas áreas del desarrollo de estándares dentro de la industria global de telecomunicaciones.

La ITU incluye una división específica conocida como el Sector de Estandarización de Telecomunicaciones o ITU-T. Esta división engloba muchas compañías y organizaciones con intereses en estándares de telecomunicaciones. Una vez que los estándares ITU-T han sido agrupados en áreas funcionales semejantes, se los denomina recomendaciones, y comparten una letra del alfabeto. Las recomendaciones ITU-T más relevantes son:

G— Sistemas de Transmisión y medios, sistemas digitales y redes

H— Sistemas Audiovisuales y Multimedia

P— Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas, y redes de línea local

La letra de la categoría de la recomendación es típicamente seguida por un punto y un número, tal como G.711 o H.323. Una recomendación estándar ITU-T se dice que está "vigente", cuando el estándar ha sido aprobado por la asociación ITU-T.

3.1.2 Como trabajan las PSTN

Para hablar de tecnología VoIP, es bueno entender cómo trabajan las PSTN. Los pasos siguientes muestran que sucede cuando se realiza una llamada:

1. Quien llama, levanta el tubo telefónico y escucha señal de marcado.
2. El que llama, ingresa un número telefónico el cual identifica la dirección del destinatario.

⁴ Las publicaciones ITU pueden ser vistas en http://www.itu.int/publications/main_publ/itut.html

3. Se envían señales a través de la PSTN para establecer un circuito para poder realizar la llamada y reservar los recursos necesarios.
4. Suena el teléfono del destinatario, que le indica al destinatario que una llamada ha llegado.
5. El destinatario levanta el tubo del teléfono y comienza la conversación. El audio de la conversación se transforma a un formato digital y luego es transformado nuevamente en el otro extremo.
6. Termina la conversación, se factura la llamada, el circuito es cerrado, y los recursos son liberados.

Estos pasos deben suceder correctamente y rápidamente para lograr una llamada telefónica exitosa y de alta calidad. Cuando los profesionales de las redes de datos consideran proporcionar las mismas funcionalidades y disponibilidad en redes relativamente nuevas como las redes IP, toman una verdadera dimensión de lo que esto implica.

3.1.3 Componentes de la PSTN

Son cinco los componentes que proveen la infraestructura necesaria para lograr una llamada rápida y confiable sobre una PSTN. Una breve introducción a cada uno de estos componentes ayudará a entender que prestaciones debemos esperar de una tecnología de VoIP. Cada uno de estos cinco componentes se detallan a continuación:

1. Codificación de la voz
2. PSTN switches
3. Private Branch eXchange (PBX)
4. Señalización
5. Teléfonos

3.1.3.1 Codificación de la voz

Cuando un usuario habla por la boquilla de un auricular telefónico, inicialmente la voz se envía sobre el cableado telefónico como una transmisión analógica.

Cuando esta transmisión alcanza el punto de entrada en la PSTN, se digitaliza (serie de 0s y 1s). Después de digitalizarse, la transmisión codificada de la voz se transporta a través de la PSTN al otro extremo, donde se convierte nuevamente en una señal analógica.

El método para convertir la voz en un formato digital es un estándar. El nombre de ese estándar es G.711 y utiliza una técnica de codificación llamada Modulación por Codificación de Impulso (PCM). Sin embargo, dentro del estándar G.711 hay dos variantes:

- G.711u— También conocida como codificación μ -law que es usada principalmente en América del Norte.
- G.711a— También conocida como codificación a-law, que es usada principalmente fuera de América del Norte.

G.711 convierte la entrada de audio analógico en una salida digital con una tasa de salida de 64.000 bits por segundo. A un canal simple de voz G.711 se lo conoce como señal digital de nivel 0 o simplemente DS0. La razón por la que un DS0 utiliza 64 kbps es que se ha usado para los enlaces entre PSTN. Para construir enlaces de redes telefónicas con capacidad para 24 canales de voz requiere $24 \times 64 \text{ kbps} = 1.536 \text{ Mbps}$. Adicionalmente se requieren 8 kbps los encabezamientos de trama, que da un total de 1,544 Mbps. Un enlace con esta capacidad es conocida como un troncal nivel 1, o un enlace T1.

3.1.3.2 Los Switches de la PSTN

Los switches son un componente central de la PSTN. Varios tipos de switches mueven el tráfico entre enlaces y proveen los circuitos y las conexiones dedicadas necesarias para el manejo de las llamadas. Las conexiones entre switches normalmente se denominan líneas troncales, y la capacidad de líneas troncales es generalmente indicada en términos del número de canales DS0. Las líneas troncales utilizan una tecnología llamada multiplexación para enviar múltiples conversaciones de voz sobre el mismo enlace.

Los switches de las PSTN frecuentemente se categorizan en base a su función. Sin embargo, hay switches que realizan la misma clase de funciones y se los suele conocer con distintos nombres. Si conecta un teléfono hogareño, el primer punto de entrada es un switch denominado switch local. Este tipo de switch también se conoce como switch clase 5. El switch local es operado frecuentemente por una compañía de teléfonos local, la cual se denomina Local Exchange Carrier (LEC). El switch local toma una entrada analógica desde la conexión del teléfono y la digitaliza para la transmisión a través de la PSTN. La conversación digitalizada es enviada a través de las líneas troncales al próximo switch en la red.

Otro tipo de switch son los denominados switch de tandem. Estos switches son operados generalmente por una compañía de larga distancia, o Interchange Carrier (IXC). Los switches de tándem son conectados a switches locales u otros switches de tándem para proporcionar un circuito lógico a través de la PSTN, y a menudo se los denomina switches Clase 1, 2, 3, ó 4. Ellos transportan volúmenes masivos de llamadas y son diseñados para ser muy escalables y seguros.

En sistemas de VoIP, el router IP es equivalente a los switches de una PSTN. En la siguiente figura se muestran los diferentes tipos de switches.

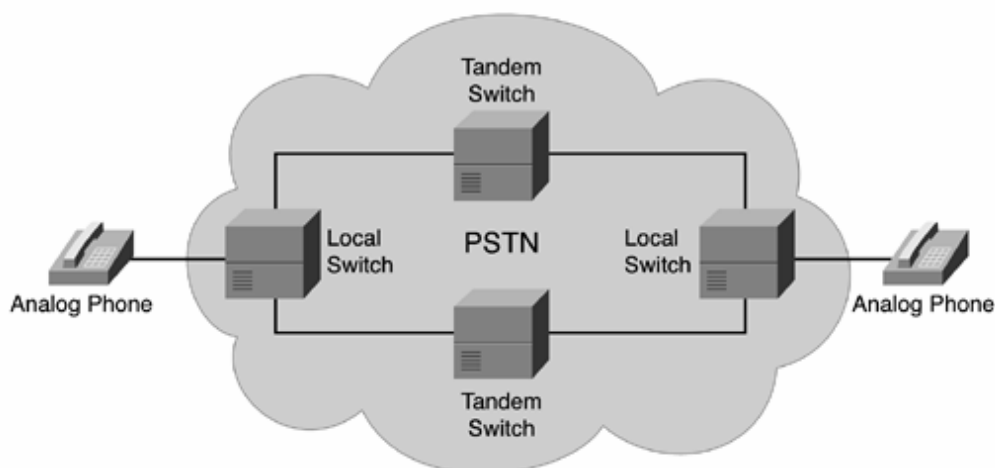


Figura 3: Switches Locales y de Tandem [1]

3.1.3.3 PBXs

Una Private Branch eXchange (PBX) es la base de la mayoría de las redes corporativas de voz. Típicamente, una red telefónica corporativa es distinta a un sistema telefónico residencial. En un ambiente corporativo, la red tiene que servir a múltiples usuarios que necesitan alguna característica avanzada, tal como identificación de llamada, transferencia de llamadas, derivación del teléfono, etc. Además, la corporación típica, necesita que su sistema de teléfono actúe como una sola red, incluso si sirve a oficinas que están fuera del edificio principal.

Por otro lado en los sistemas telefónicos residenciales, se deben asignar una línea de teléfono externa distinta para cada usuario, la PBX permite a usuarios corporativos compartir un número limitado de líneas telefónicas externas, proporcionando ahorro de costos a la compañía.

Las PBX se fabrican de muchos tipos y tamaños. Los sistemas más pequeños de PBX, soportan un número limitado de usuarios para oficinas pequeñas. Por el contrario los sistemas más grandes, pueden proporcionar servicio telefónico para centenares o miles de usuarios.

En sistemas de VoIP, una IP PBX es análoga a la PBX de una PSTN, porque provee muchas de las funcionalidades y características de una PBX tradicional. En la figura siguiente se muestra una PBX corporativa conectada a una PSTN.

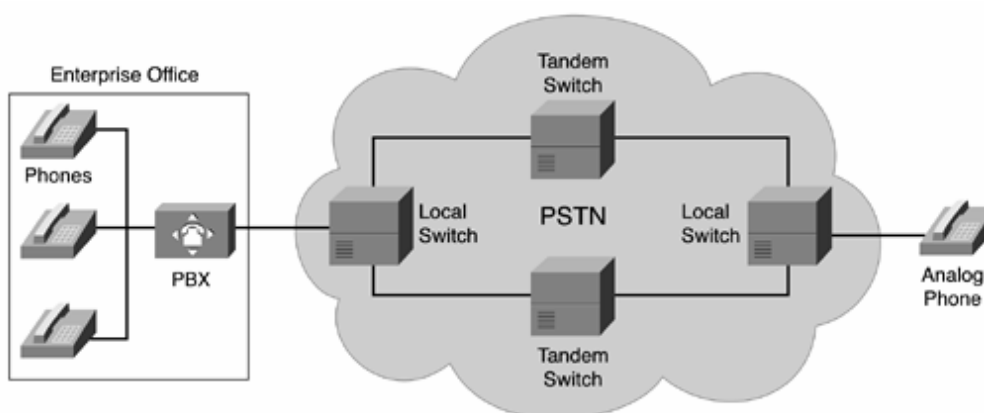


Figura 4: PSTN conectada a través de PBX empresarial [1]

A veces la funcionalidad del PBX es tercerizada y se contrata a un proveedor de Internet para una solución conocida como Centrex. Con esta solución, el proveedor de Internet posee y opera todo el equipamiento requerido para proporcionar las llamadas, el control y los servicios de teléfono. El proveedor mantiene y maneja el equipo en sus instalaciones, libertando al cliente del costo y la administración del la PBX. Para sistemas de VoIP, los proveedores de Internet ahora ofrecen IP Centrex, que extiende el modelo tradicional de Centrex para incluir llamadas telefónicas basadas en IP.

Al igual que las soluciones de IP Centrex, muchos sistemas tradicionales de PBX son actualizados (con agregado de placas y/o actualización de código) para implementar telefonía de IP. Una solución como esta puede proporcionar un primer paso hacia una implementación de VoIP, produciendo un ahorro de costos, porque se evita el tráfico sobre la PSTN para llamadas de larga distancia. Al usuario, el servicio le resulta transparente, porque los teléfonos conectados a la PBX tienen todas las características y las funciones que tuvieron siempre. Hay una inversión grande en sistemas tradicionales de PBX, por lo que no puede esperarse un cambio tan radical para la implementación de una solución de VoIP pura.

3.1.3.4 Señalización

Establecer una llamada telefónica requiere varios tipos diferentes de señalización: informar a los dispositivos de red que un teléfono está descolgado, suministrar al destinatario la información de forma tal que la llamada pueda ser ruteada apropiadamente, y notificar que ingresó una llamada tanto para la persona que llama como al receptor. Una tecnología relativamente nueva de señalización, conocida como Signaling System 7 (SS7), es el estándar de la ITU, para la señalización, procedimiento de llamada, y la administración de llamadas de la PSTN. Típicamente, se utiliza una red separada para los flujos SS7. Por un lado se trasportan las llamadas y por otro los datos SS7, por lo que normalmente se los referencia como una señal fuera de banda.

Una red SS7 tiene dos componentes claves. El punto de transferencia de la señal (STP) proporciona el ruteo por la red SS7. Se podría pensar en STPs como los routers IP de la red SS7. El punto del control de la sesión (SCP) proporciona búsqueda de 800 números y otras características de administración. En forma análoga, el Sistema de Nombre de Dominio (DNS) y Protocolo de Control de Host Dinámico (DHCP) proporciona el direccionamiento y la administración de las mismas para redes IP.

Cuando se realiza una llamada telefónica, los protocolos de señalización encuentran la ruta al destinatario, establece las conexiones entre interruptores, y libera estas conexiones una vez concluida la llamada. El STPs se comunica con el switch local y el tandem switch para reservar la capacidad necesaria entre la trayectoria específica para vincular al emisor con el receptor. Una vez concluida la llamada, el STPs se comunica con los switches para liberar las conexiones reservadas, dejando recursos disponibles para otras llamadas. En la siguiente figura se muestra una red SS7 y los caminos de señalización.

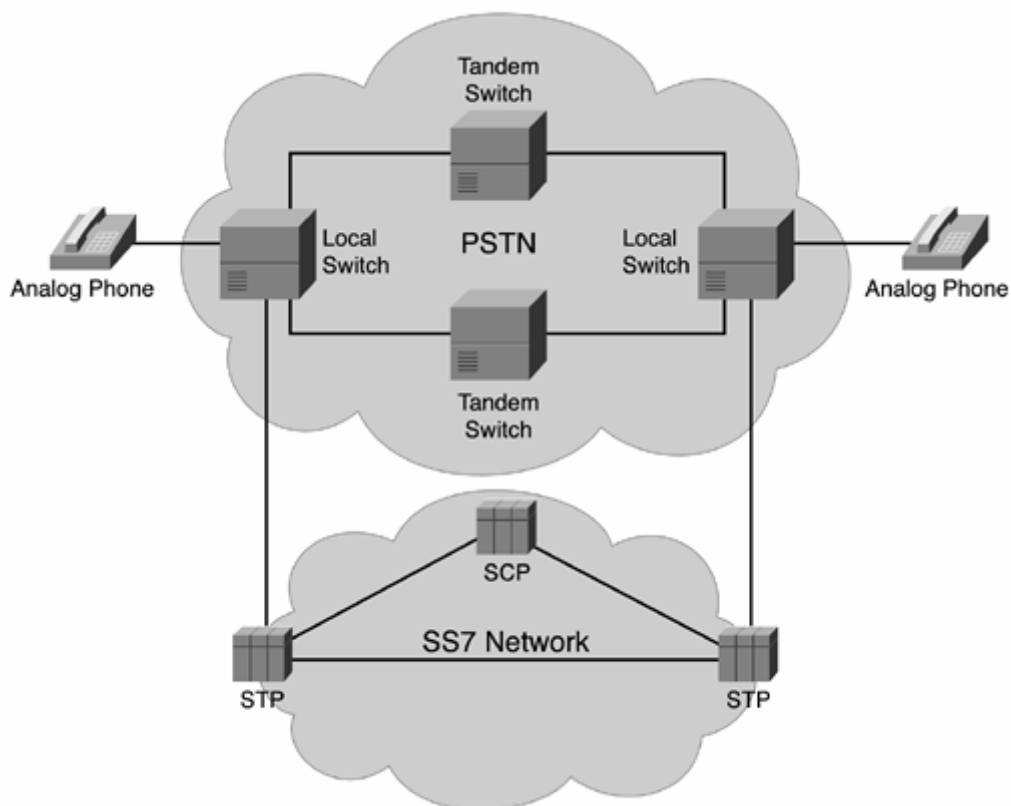


Figura 5: La PSTN utiliza SS7 para señalización [1]

3.1.3.5 Teléfonos

Tradicionalmente los teléfonos que se conectan a la PSTN son de dos tipos: analógicos y digitales.

- Teléfono analógico: Es el tipo de teléfono que la mayoría de la gente tiene en sus casas. Este se conecta a la PSTN a través de una línea telefónica tradicional y envía una transmisión analógica (una forma de onda que varía con el tiempo).
- Teléfono digital: Es el tipo de teléfonos que generalmente utilizan las corporaciones. Este se conecta directamente a la PBX y envía señales digitales con un formato específico.

Este capítulo no se ha mencionado el teléfono celular ni la tecnología de telefonía de móvil. Es posible pensar en la red de celular como una extensión del PSTN (la mayoría de las llamadas de móvil son llevadas por lo menos parcialmente sobre el PSTN). La tecnología y los componentes del sistema de celular están más allá del alcance del presente trabajo de tesis.

3.2 VISIÓN DE LAS COMUNICACIONES DESDE LA PERSPECTIVA DE LA COMUNIDAD DE LAS REDES DE DATOS [1]

A través de los años, ingenieros de redes de datos han desarrollado reglas precisas para definir cómo se debe construir un datagrama. Estas reglas se denominan protocolos. Aunque muchos protocolos para redes de datos hayan sido desarrollados durante los últimos 50 años, desde que la aparición de Internet, el Protocolo de Internet (IP) ha llegado a ser el protocolo más importante.

El protocolo IP ha resultado ser notablemente escalable y adaptable. Esta es la razón por la que IP ha llegado a ser ubicuo, cambiando la manera de pensar de las personas acerca de cómo transferir datos y comunicarse. Desde hace ya unos años, la palabra convergencia ha generado mucha atención a la industria de las redes de datos. Convergencia se refiere a tomar los tipos diferentes de

datos—la voz, el video, y los datos de aplicación—y transferirlos sobre la misma red de IP.

3.2.1 Estándares de las Redes de Datos

Tal como el ITU ha influido en la creación de estándares en la comunidad de telefonía, la Internet Engineering Task Force (IETF) ha dirigido sus esfuerzos para la estandarización en la comunidad de las redes de datos.

Nuevas técnicas de networking atraviesan una rigurosa fase del ensayo que consiste en el estudio, la implementación, y la revisión para verificar su estabilidad y robustez. Aquellos que pasan estas exhaustivas revisiones son conocidos como Request For Comments (RFC) identificados con un número, debido a que la etapa de RFC es a menudo el último paso en la transición de un borrador de estándar a un estándar aprobado.

Cada componente del protocolo IP tal como TCP, UDP y RTP, tiene una correspondencia con uno o más RFCs que describe su operación.

3.2.2 Cómo funciona VoIP

La voz sobre IP es simplemente la transferencia de conversaciones de voz en forma de datos sobre una red de IP. A diferencia de las tradicionales llamadas basadas en circuitos conmutados en las PSTN, en VoIP se utiliza "conmutación de paquetes". En un ambiente de conmutación de paquetes, múltiples dispositivos comparten una sola red de datos. Se comunican enviando paquetes de datos uno al otro, cada paquete contiene información de direccionamiento que especifica las computadoras de origen y destino. El contenido de estos paquetes—esto es, su carga útil—son "recortes" de la conversación de la voz. Estos dentro de una sola transmisión pueden tomar caminos distintos a través de la red durante su recorrido hacia su destino.

Esto es lo que sucede cuando se realiza una llamada de VoIP:

1. El que llama, levanta el tubo telefónico y escucha tono de marcado.

2. Marca un número telefónico, el cual es mapeado a una dirección IP del destinatario.
3. Ciertos protocolos son invocados para localizar al receptor y enviar una señal que produce el llamado en el teléfono de destino.
4. Suena el teléfono de destino, lo cual indica al destinatario que llegó una llamada.
5. El receptor levanta el tubo telefónico y comienza una conversación bidireccional. La transmisión de audio es codificada utilizando codecs y viaja sobre la red IP usando un protocolo específico.
6. La conversación termina, y entre otras cosas se registra la llamada para facturación.

3.2.3 Componentes de VoIP

Algunos de los componentes más importantes son:

1. Codecs
2. TCP/IP y protocolos VoIP
3. Servidores de telefonía IP y PBXs
4. Gateways VoIP y routers
5. Teléfonos IP y softphones

3.2.3.1 Codecs

La señal de audio debe ser digitalizada, comprimida y codificada antes de ser transmitida por la red IP. Para ello se utilizan algoritmos matemáticos implementados en software llamados códecs (acrónimo de codificador-descodificador aunque actualmente se le atribuye también las funciones de compresor-descompresor). Existen diferentes modelos de códecs de audio utilizados en VoIP, y dependiendo del algoritmo escogido en la transmisión, variará la calidad de la voz, el ancho de banda necesario y la carga computacional. El objetivo principal de esta tecnología es encontrar un equilibrio entre eficiencia y calidad de la voz. Aunque el sistema auditivo

humano es capaz de captar las frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 kHz, la gran mayoría de códecs procesan aquella información dentro de la banda de 400 Hz – 3,5 ya que a la hora de reconstruir la señal, sigue siendo inteligible. A continuación se enumeran y describen, entre otros, los códecs más utilizados en VoIP:

- G.711⁵: principal códec de la PSTN estandarizado por la ITU. Este estándar muestrea a una frecuencia de 8 kHz y utiliza PCM (Modulación por Codificación de Impulso) para comprimir, descomprimir, codificar y decodificar.
- G.726: este estándar de la ITU, también conocido como ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation), sustituyó al obsoleto estándar G.721 en 1990. Permite trabajar a velocidades de 16 kbps, 24 kbps y 32 kbps. La gran ventaja de este códec es la disminución de ancho de banda requerido sin aumentar en gran medida la carga computacional.
- G.723.1: este algoritmo, estandarizado en 1995 por la ITU, puede operar a 6.3 kbps o 5.3 kbps. Si es utilizado en una aplicación comercial es necesario pagar una licencia.
- G.729A: códec desarrollado por France Telecom , Mitsubishi Electric Corporation , Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) y la Universidad de Sherbrooke. Requiere 8 kbps de ancho de banda. La carga computacional de este algoritmo es elevada y también es necesaria una licencia para su uso comercial. Actualmente la propiedad intelectual es de la empresa SIPRO.
- GSM (Global System Mobile): estándar que opera a 13 kbps con una carga de CPU aceptable. No requiere el pago de una licencia.
- iLBC (Internet Low Bit rate Codec): complejo algoritmo libre desarrollado por Global IP Sound (GIPS) que ofrece una buena relación

⁵ Descrito en el punto 5.1.3.1

a cambio de una mayor carga computacional. Es definido en los RFCs 3951 y 3952 de la IETF (Internet Engineering Task Force). A pesar de ser el códec utilizado por Skype o Google Talk su uso no ha sido extendido en teléfonos IP. iLBC opera a 13.3 kbps y 15.2 kbps.

- Speex: software libre creado por Xiph.Org Foundation que implementa un algoritmo capaz de variar la velocidad de transmisión dependiendo de las condiciones actuales de la red (VBR: Variable Bit Rate). El ancho de banda puede variar desde 2.15 a 22.4 kbps.
- MP3 (Moving Picture Experts Group Audio Layer 3 Encoding Standard): es un códec de audio optimizado para música y no para telefonía. Este popular códec de la ISO (Organización Internacional de Estándares) es utilizado por los teléfonos IP principalmente para ofrecer servicios de música en espera.

3.2.3.2 TCP/IP y Protocolo VoIP

La familia de protocolos TCP/IP es el sustento de Internet y las redes corporativas actuales. Los programas envían y reciben los datos sobre una red de IP haciendo llamadas al software TCP/IP, conocido como pila de protocolos. La pila TCP/IP en la computadora local intercambia información con la pila TCP/IP de la computadora destino, con el objetivo de realizar la transferencia de datos de un lado al otro. La información que intercambian incluye el tamaño de los bloques de datos (el tamaño del datagrama), identificación de los datos asociados con cada datagrama (el encabezamiento de datagrama), y lo que debe ocurrir si se pierde o se daña un datagrama en tránsito.

El Protocolo de Internet determina cómo se transfieren los datagramas a través de una red de IP desde el programa que envía al programa que recibe. Los datagramas son las unidades enviadas y recibidas por ambos extremos, y se mueven en saltos, o en segmentos, a través de una red. Cada salto tiene sus propias características de red; por ejemplo, algunos saltos pueden ser Fast Ethernet, mientras que los otros podrían ser conexiones más lentas. Para optimizar el desempeño de los saltos, los dispositivos en la red pueden realizar fragmentación de datagramas, es decir que datagramas grandes se subdividen

en segmentos más pequeños, que necesitan ser reensamblados por la computadora destino.

Cuando arriba un datagrama a un router IP o un switch, éstos deciden hacia dónde debe enviarlo. Si existe una demora excesiva cuando atraviesan los distintos saltos, sumado con la variación del retraso de los datagramas pueden producir una baja calidad en la transmisión de voz.

La actual versión del Internet Protocol se denomina IPv4 que ha sido publicada a principio de los años '80. Es notable que a pesar de todos los cambios en redes de computadora, el protocolo fundamental no haya cambiado mucho. Sin embargo, IPv4 tiene algunas limitaciones, que han llevado a una versión mejorada conocida como IPv6. Esta procura proporcionar un espacio de direcciones más grande para superar el actual problema de quedar sin suficientes direcciones IP.

El envío y la recepción de información se realiza utilizando básicamente dos protocolos:

- Transmission Control Protocol (TCP): Cuando se realiza una llamada a la interfase TCP, el programa que lo invoca quiere asegurarse que el programa destinatario reciba todo lo que le fue enviado. Esto es, requiere que los datos no se pierdan, que no se dupliquen y que no lleguen fuera de orden. TCP es un protocolo orientado a la conexión debido a que ambos extremos mantienen un fuerte seguimiento de todo lo que es enviado y recibido.
- User Datagram Protocol (UDP): Cuando se utiliza UDP, la aplicación que envía no tiene certeza de la entrega. UDP es un protocolo no orientado a la conexión, lo cual significa que cuando se usa este protocolo, los dos lados no reciben ningún dato para cerciorarse de que todo llegó intacto.

Los datagramas que reúne la aplicación contienen la información del protocolo específico. La porción TCP o UDP de un datagrama individual es incorporada dentro de una envoltura IP. Por ejemplo, un encabezamiento UDP describe cómo codificar la carga útil de un datagrama UDP. En cambio, el

encabezamiento de IP contiene información como las direcciones de la red del emisor y el receptor. Se presenta a continuación un gráfico de los paquetes IP y su formato:

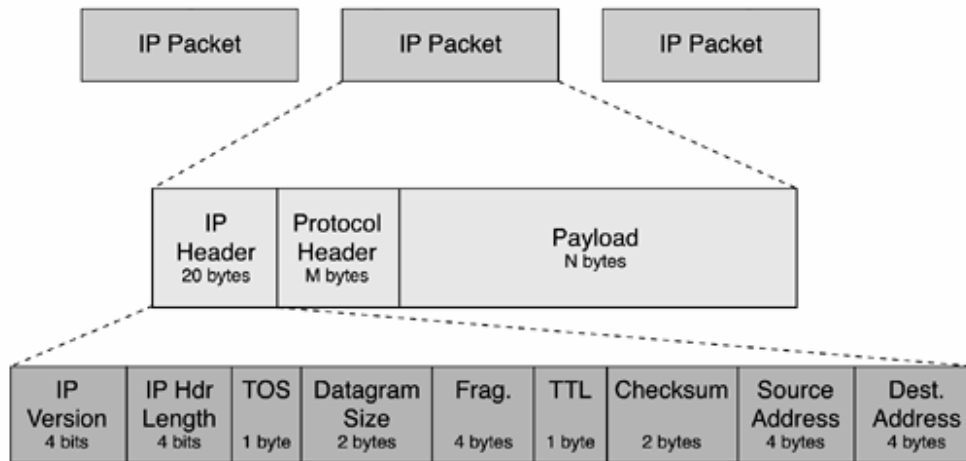


Figura 6: Formato del paquete IP [1]

Los principales campos del encabezamiento son:

- TOS (Tipo de Servicio). El byte TOS se puede usar para marcar la prioridad de un paquete. Es generalmente establecido en cero, el cual significa que los dispositivos en la red que examinen el paquete le brindarán el mayor esfuerzo para transmitirlo. Estableciendo este byte a un valor distinto de cero, una aplicación podría requerir mejorar el manejo del paquete.
- TTL (Tiempo de Vida): Cada vez que un paquete realice un salto en su camino a través de la red, el número en el byte TTL se reduce en uno. Si un dispositivo recibe un paquete con su TTL igual a cero, se descarta. Esto significa que el paquete ha vivido mucho tiempo, lo cual da un indicio que hay un problema en la red o en el paquete.
- Checksum: El checksum se usa para detectar cualquier cambio producido durante la transmisión. De esta forma el receptor puede identificar que hubo un error

- Dirección de origen y destino: Estos campos son los 4-bytes de la dirección. Estos 4 bytes tradicionalmente se escriben en notación decimal con punto tal como: 192.168.123.158.

3.2.3.3 Protocolos de VoIP

Las aplicaciones construyen sus propias familias de protocolos de alto nivel sobre los protocolos de bajo nivel, los cuales se utilizan para el transporte y otras tareas. Transportar una llamada telefónica de VoIP en una red de datos implica el establecimiento de la llamada—conseguir un tono de marcado, llamar a un número de teléfono, conseguir que suene el teléfono del destinatario (o en su defecto generar una señal de ocupado), y que el destinatario recoja el teléfono para contestar la llamada—y poder realizar la conversación telefónica. Para ambas fases se requieren dos protocolos de VoIP:

- Protocolos para el establecimiento de las llamadas: Se pueden utilizar varios protocolos de alto nivel para establecer y liberar la comunicación como H.323, SIP, SCCP, MGCP, y Megaco/H.248. Los programas que implementan los protocolos de establecimiento de las llamadas utilizan TCP y UDP para el intercambio de datos durante todas las fases.
- Protocolos de streaming de voz: El intercambio de datos que contienen la voz codificada, se realiza después del establecimiento de la llamada usando dos flujos – uno en cada dirección – para permitir que ambos participantes puedan hablar al mismo tiempo. Cada uno de estos flujos de datos utiliza un protocolo de alto nivel denominado Real-Time Transport Protocol (RTP), el cual es encapsulado en UDP para viajar a través de la red. En la siguiente figura se ilustra estos dos grupos de protocolos de VoIP.

En las siguientes secciones se describe con mayor detalle los protocolos de streaming de voz.

3.2.3.3.1 Protocolos de establecimiento de llamadas

La señalización en VoIP tiene un papel muy importante en la red, ya que es la encargada de establecer, mantener, administrar y finalizar una conversación

entre dos puntos. Además de ofrecer funciones de supervisión, marcado, llamada y retorno de tonos de progreso; también se encarga de proveer QoS en cada canal de transmisión. En los siguientes apartados se describen algunos de los protocolos más importantes utilizados en VoIP.

3.2.3.3.1.1 H.323

H.323 es una familia de estándares desarrollado por la ITU en 1996 con el objetivo de ofrecer un mecanismo de transporte para servicios multimedia sobre redes que no garantizan QoS, aunque su uso se ha extendido sobretodo al uso sobre redes IP. Pese a que inicialmente fue definido como un protocolo de videoconferencia, rápidamente ha ido evolucionando para cubrir todas las necesidades de la VoIP. De hecho el protocolo VoIP generaliza los conceptos introducidos por H.323. Además especifica aspectos basados en el sistema de señalización número 7 (SS7) para la interconexión con la PSTN. Se trata de una recomendación bastante cerrada donde se define los códecs a utilizar, tanto en audio como en video, y los protocolos de transporte de la información. De hecho fue el primer estándar en adoptar como medio de transporte el protocolo RTP, siendo capaz de aplicar algoritmos de encriptación de la información, evitando de esta manera añadir elementos de seguridad adicionales a los requeridos para la conexión a Internet. Pese a que técnicamente es un protocolo potente y maduro, el interés por parte de los usuarios y empresas actualmente ha disminuido debido principalmente a su complejidad y a ciertas ineficiencias detectadas en conferencias entre un número elevado de terminales.

3.2.3.3.1.2 SIP

SIP (Session Initial Protocol) es un protocolo desarrollado por el IETF en 1999 para el control de llamadas multimedia y la implementación de servicios telefónicos avanzados. SIP está basado en HTTP (HyperText Transfer Protocol) adoptando las características más importantes de este estándar como son la sencillez de su sintaxis y una estructura cliente/servidor basada en un modelo petición/respuesta. Otra de las ventajas de SIP es su sistema de direccionamiento. Las direcciones SIP tienen una estructura parecida a la de correo electrónico dotando a sus clientes de una alta movilidad, facilitando una

posible integración en comunicaciones móviles. Cabe destacar que aunque originalmente SIP tenía como objetivo la simplicidad, en su estado actual se ha vuelto tan complejo como H.323. Pero el gran potencial de SIP reside en su flexibilidad ya que ofrece la posibilidad de programar nuevos servicios no definidos por la propia recomendación. Entornos de programación como CGI (Common Gateway Interface) o sencillos lenguajes de programación como CPL (Call Processing Language) son alguna de las herramientas para la implementación de servicios sin que conlleve a un peligro para la integridad del sistema. Esta es la característica principal por la que SIP actualmente goza de un mayor éxito que H.323. Los clientes SIP llamados peers o user agents usan el puerto 5060 en TCP (Transmission Control Protocol) y UDP (User Datagram Protocol) para conectar con los servidores SIP. Este es usado simplemente para iniciar y terminar llamadas de voz y video. Todas las comunicaciones de voz/video van sobre RTP.

3.2.3.3.1.3 MGCP-MEGACO

Media Gateway Control Protocol (MGCP) es otro estándar de señalización para VoIP desarrollado por la IETF. MGCP está basado en un modelo maestro/esclavo donde el Call Agent (servidor) es el encargado de controlar al gateway. De esta forma se consigue separar la señalización de la transmisión de la información, simplificando la integración con el protocolo SS7. Esta importante ventaja propició la colaboración conjunta entre el IETF y la ITU para el desarrollo de una nueva especificación basada en MGCP que fuera complementaria a SIP y H.323. El resultado fue MEGACO aunque la ITU se refiere a este protocolo como H.248. En definitiva, SIP y H.323 se utiliza para la señalización en los extremos, mientras que MEGACO es óptimo para los grandes operadores de telefonía.

3.2.3.3.1.4 IAX

Inter-Asterisk eXchange protocol (IAX) fue desarrollado por Digium para la comunicación entre centralitas basada en Asterisk. El principal objetivo de IAX es minimizar el ancho de banda utilizado en la transmisión de voz y vídeo a través de la red IP y proveer un soporte nativo para ser transparente a los NATs (Network Address Translation). La estructura básica de IAX se

fundamenta en la multiplexación de la señalización y del flujo de datos sobre un simple puerto UDP, generalmente el 4569. El protocolo original ha quedado obsoleto en favor de su segunda versión conocida como IAX2. Se caracteriza por ser robusto y simple en comparación con otros protocolos. Permite manejar una gran cantidad de códecs y transportar cualquier tipo de datos.

3.2.3.3.2 Protocolos de Streaming de Voz

El protocolo RTP es ampliamente utilizado para streaming de audio y video. RTP está diseñado para aplicaciones que envían datos en una dirección sin reconocimientos. El encabezado de cada datagrama RTP contiene una marca de tiempo, por lo que la aplicación que recibe el datagrama puede reconstruir el tiempo de los datos originales. Contiene también un número de secuencia para que el receptor sepa qué hacer cuando se pierde, se produzca un duplicado, o llegue un datagrama fuera de orden.

Los dos streams de RTP que transportan la conversación bidireccional son los elementos más importantes para determinar la calidad de las conversaciones de la voz. Es útil entender la composición del datagrama RTP que transporta el datagrama de voz. La siguiente figura muestra el formato de encabezamiento de RTP.⁶

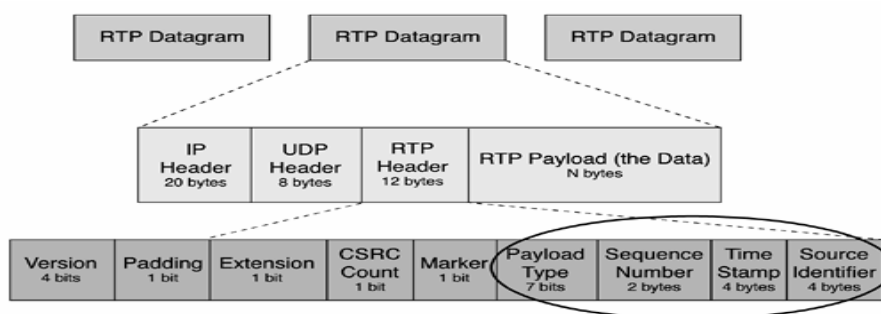


Figura 7: Formato del encabezamiento RTP [1]

Todos los campos relacionados a RTP se incorporan dentro de la carga útil de UDP. De esta forma, tal como UDP, RTP es un protocolo no orientado a la conexión. El software que crea datagramas de RTP no es comúnmente parte de la pila de protocolo de TCP/IP, por lo que se desarrollan las aplicaciones

⁶ Ver RFC 1889 para más información.

para agregar y reconocer un encabezamiento de 12 bytes adicionales en cada datagrama UDP. El emisor llena cada encabezamiento, que contiene cuatro campos importantes:

- Tipo de carga RTP: Indica cuál es el codec utilizado. El codec transmite el tipo de datos (tal como voz, audio, o video) y cómo es codificado.
- Número de secuencia: Ayuda al receptor a reensamblar los datos y detectar si hay datos perdidos, fuera de orden o duplicados.
- Time Stamp (marca de tiempo): Es utilizado para reconstruir el tiempo original del audio o el video. También ayuda al receptor a determinar las variaciones en los tiempos de llegada de datagrama (jitter). Es la marca de tiempo la que le da el verdadero valor a RTP. Un emisor de RTP coloca una marca de tiempo en cada datagrama que envía. El lado receptor de la aplicación RTP toma nota al momento que llega cada datagrama y lo compara con la marca de tiempo. Si el tiempo entre llegadas de datagramas se corresponde con el tiempo con el cual fueron enviados, no hay variación. Dependiendo de las condiciones de la red, podría haber mucha variación en los tiempos de llegada del datagrama, por lo que utilizando el time stamp, el receptor puede calcular fácilmente esta inestabilidad.
- Source ID: Permite que el software en el lado receptor distinga entre múltiples y simultáneos streams.

El verdadero consumo de ancho de banda por llamadas de VoIP es más alto de lo que parece. La acumulación de encabezamientos puede agregar mucho overhead, dependiendo del tamaño de la carga útil de datos. Por ejemplo, un tamaño típico de la carga útil cuando se usa un codec G. 729 es de 20 bytes, lo que significa que el codec genera segmentos de 20 bytes para una llamada de VoIP a una tasa predeterminada específica para ese codec. Con RTP, dos

tercios del datagrama son de encabezamiento, porque el encabezamiento total consiste en lo siguiente:

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

El codec G. 729 tiene una tasa de datos de 8 kbps. Cuando envía a intervalos de 20 ms, su tamaño de la carga útil es 20 bytes por datagrama. A esto, se le agrega los 40 bytes de encabezamiento de RTP y algún encabezamiento adicional de capa 2. Por ejemplo, los drivers Ethernet le agregan generalmente 18 bytes más. El ancho de banda requerido por cada uno de los codecs más comunes, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1: Atributos comunes de los Codec

Codec	Tasa de Datos Nominal	Retraso de Packetización	Intervalos Típicos entre Datagramas	Ancho de Banda Requerido
G.711u	64.0 kbps	1.0 ms	20 ms	87.2 kbps
G.711 ^a	64.0 kbps	1.0 ms	20 ms	87.2 kbps
G.726-32	32.0 kbps	1.0 ms	20 ms	55.2 kbps
G.729	8.0 kbps	25.0 ms	20 ms	31.2 kbps
G.723.1 MPMLQ	6.3 kbps	67.5 ms	30 ms	21.9 kbps
G.723.1 ACELP	5.3 kbps	67.5 ms	30 ms	20.8 kbps

3.2.3.4 Servidores de telefonía IP y PBXs

El uso de redes IP para la transmisión de voz requiere la utilización de servidores especialmente diseñados para este propósito. La PBX es a menudo un sistema de caja cerrada que proporciona todas las funciones de voz implementadas generalmente de manera propietaria. Algunas características avanzadas que proveen los servidores son por ejemplo la unificación de la mensajería. Los servidores de telefonía IP se comunican con el servidor de correo para proveer acceso a los mensajes desde una variedad de formas. Como implementaciones de servidores podemos mencionar Cisco CallManager

y Asterisk. En la siguiente figura se muestran los componentes más importantes de una red VoIP.

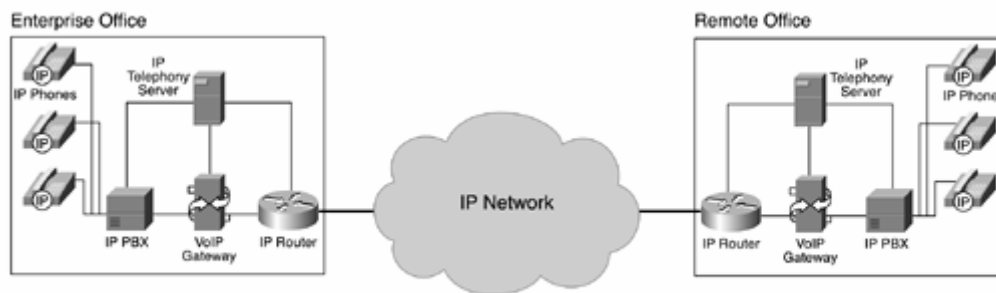


Figura 8: Componentes típicos de una red de VoIP [1]

Otro tipo de servidor requerido es el gatekeeper, que es utilizado por el protocolo H.323 para brindar el Control de Admisión de Llamadas (CAC - Call Admission Control) y otras funciones de administración, tales como búsqueda de direcciones para servicios de multimedia. El gatekeeper utiliza un conjunto de flujos de señales, RAS (registro, admisión y estado), para interactuar con dispositivos VoIP. La función de CAC de un gatekeeper puede resultar especialmente importante en redes con ancho de banda limitado, debido a que el gatekeeper puede registrar el número de llamadas en curso y restringir nuevas llamadas en base al ancho de banda disponible. La función de CAC es limitar nuevas llamadas (o enrutarlas hacia la PSTN) si detecta algún impacto en la calidad de las llamadas que actualmente se están cursando sobre la red VoIP.

3.2.3.5 Gateways VoIP, Routers y Switches

Los gateways VoIP y los routers IP transportan los paquetes RTP de voz a través de la red. Los gateways proporcionan la vinculación entre la red VoIP y la PSTN utilizando el protocolo SS7 para lograr esta integración. Otra funcionalidad de los gateways es la conversión entre diferentes codecs (transcoding).

En un ambiente corporativo, los gateways VoIP se pueden interconectar con PBXs tradicionales para proporcionar instancias de migración lo que permite implementaciones en etapas. Los gateways típicamente pueden manejar una

gran variedad de señalizaciones y protocolos de datos para vincular las distintas plataformas.

Los router IP, al examinar los encabezamientos IP, toman las decisiones necesarias para mover paquetes hacia el próximo salto a través del camino hacia el destino. Analizar el camino de un paquete de voz a través de la red, puede resultar útil para la identificación y diagnóstico de problemas.

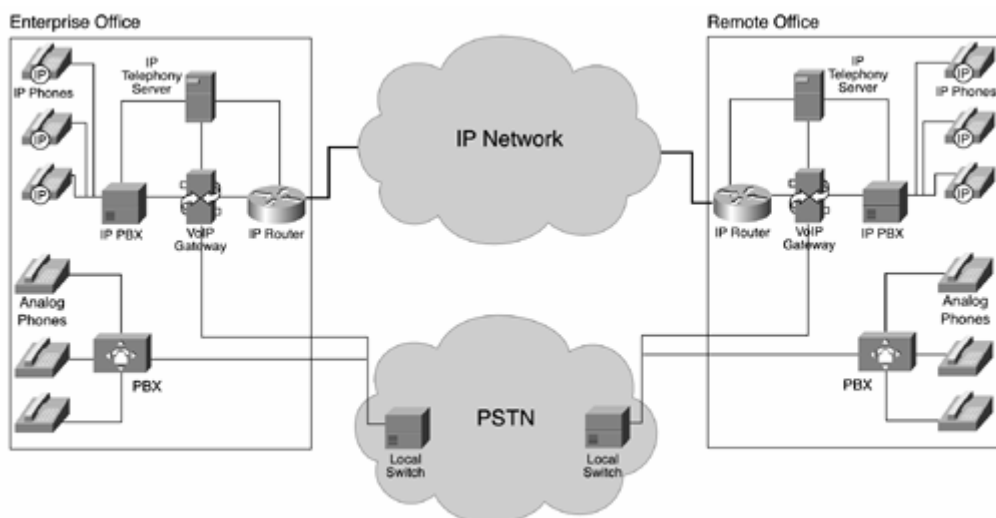


Figura 9: Red VoIP con Gateways conectados a la PSTN [1]

Los switches ethernet observan la información contenida en el encabezamiento de capa de enlace para mover paquetes desde el origen hacia el destino.

Los switches se encargan de la conectividad de los dispositivos de red y sobre los mismos se pueden implementar funciones adicionales como el ruteo de capa 3, configuración de VLANs, QoS, etc.

3.2.3.6 Teléfonos IP y Softphones

Para que VoIP funcione, se debe convertir el audio analógico en paquetes. Como se dijo anteriormente esta función es realizada por los codecs. Si se utilizan teléfonos analógicos tradicionales, los codecs se incorporan en las IP PBX.

Opcionalmente, los codecs puede estar implementados en los mismos teléfonos. Estos teléfonos digitales se los denomina teléfonos IP, los cuales en vez de disponer un conector telefónico tienen una conexión LAN ethernet. El teléfono IP después de una secuencia de inicialización, establece una conexión de datos con el servidor IP.

Otra opción es la utilización de software que se ejecuta en las computadoras de escritorio. Con el uso de auriculares y un micrófono conectado a una placa de audio, se puede establecer la comunicación con el servidor IP

3.2.4 Calidad de voz en una red VoIP

Las aplicaciones tradicionales en comparación con las aplicaciones de VoIP, tienen distintos requerimientos en relación al desempeño de la red. Por ejemplo, mientras las aplicaciones de transferencias de archivos consumen grandes cantidades de ancho de banda enviando los datos tan rápidamente como sea posible, la aplicación ERP de la empresa envía pequeñas cantidades de datos, pero utiliza un flujo constante entre emisor y receptor. En contraste, las aplicaciones de VoIP consumen un ancho de banda relativamente pequeño, pero no toleran las demoras ni las variaciones en el tráfico.

Aún cuando ambas aplicaciones convivan en la misma red, el tráfico de la voz y datos no puede ser manejado de la misma manera, por las siguientes razones:

- Tienen diferentes tamaños de paquetes.
- Tienen distintas tasas de transmisión.
- Se “buferean” y son entregados al destino de forma distinta.
- Los usuarios tienen expectativas diferentes sobre ambos.

Cualquier usuario consideraría aceptable que un mensaje de correo electrónico o una transferencia de archivo pueda demorarse media hora, sin embargo, las demoras de unos escasos cientos de milisegundos pueden afectar sensiblemente la calidad de una llamada de VoIP. Cuando se comienza a

utilizar VoIP a través de red de la organización, las demoras causadas por otras aplicaciones, routers sobrecargados, o swiches defectuosos pueden ser inevitables.

Como se dijo anteriormente, la mayoría de las redes de datos no están preparadas para proporcionar el nivel de confiabilidad y calidad de voz de una central telefónica tradicional.

Lo que veremos a continuación, es cómo se afecta el rendimiento antes y después de una implementación de VoIP.

3.2.4.1 Rendimiento de la Red antes de VoIP

Las redes de datos han sido optimizadas para aplicaciones tales como las transacciones web, correo electrónico, ERP, etc. Dos características de estos tipos de aplicaciones afectan sus requisitos de desempeño en la red:

- Envían datos utilizando el protocolo de TCP. Es un protocolo orientado a conexión, lo cual implica que el transmisor y el receptor mantienen un estricto control de lo enviado y lo recibido. Por ejemplo, cuando utiliza un explorador web, no sería bueno recibir páginas fuera de orden o sin completar, es por esto que el explorador y el servidor web trabajan en conjunto para cerciorarse de que todo se recibe correctamente. Además TCP proporciona control de flujo para que cuando un emisor envía demasiado rápido, el receptor pueda decirle que envíe a menor velocidad. Las aplicaciones de TCP son generalmente flexibles, consumiendo tanto ancho de banda como esté disponible.
- Son orientados a transacciones. Las transacciones de las Aplicaciones consisten en pedidos y respuestas. Una transacción puede ser tan sencilla como un solo pedido y la respuesta: un número de tarjeta de crédito que es enviado y una autorización que es recibida. O una transacción puede contener muchos flujos cortos de pedido y una respuesta; o incluso, el caso de una transferencia de archivo, en la cual se realiza una sola transmisión de una gran cantidad de datos. En una transacción típica de una aplicación, un cliente solicita una página web, y

el servidor responde enviando la información. De igual forma, una aplicación quizás solicite un conjunto de registros a través de una consulta SQL a un servidor. La cantidad de tiempo que requiere para realizar una transacción, le da al usuario un indicador del funcionamiento de la aplicación.

¿Cómo se sabe cuando una de estas aplicaciones orientadas a transacciones se desempeña bien? Las medidas claves del desempeño son el throughput y los tiempos de respuesta.

El throughput indica la tasa a la que el tráfico puede fluir por una red. Esta es una medida clave para aplicaciones tales como FTP, las que requieren transferir grandes cantidades de datos. Las redes con throughput más alto pueden entregar los datos en un tiempo más corto. Es una medida que refleja una capacidad de la red y generalmente es expresado en byte o bits por segundo.

El tiempo de respuesta es una medida que indica cuanto tiempo le toma enviar una solicitud y recibir una contestación sobre una red. La métrica del tiempo de respuesta es clave para transacciones de red, porque mientras más tiempo le lleva a una operación entregar la respuestas, más impaciente se pone el usuario. Generalmente es expresado en milisegundos o segundos.

Una red que proporciona un alto throughput y un tiempo de respuesta bajo, permite que las aplicaciones transaccionales basadas en TCP se ejecuten adecuadamente.

3.2.4.2 Rendimiento en una red con VoIP

Debido a que son necesarios requisitos adicionales para proporcionar una buena calidad de voz, son mayores las exigencias que se demandan de la red de datos. Aún en una red optimizada para proporcionar un alto throughput y tiempo de respuesta bajo puede suceder que funcione pobremente cuando se le agrega tráfico de VoIP. La voz tiene características de tiempo real, que tiene requisitos muy estrictos de desempeño de la red. Las aplicaciones de voz tienen dos características que debe proveer una red:

- Envían los datos utilizando el Protocolo del Transporte de Tiempo Real (RTP). Es un protocolo de capa de aplicación que utiliza UDP. Es no orientado a conexión y por lo tanto no prevé los reconocimientos ni lleva el control de los datos enviados y recibidos. Tampoco UDP prevé retransmisión de los datos que se han perdido en la red. En contraste con aplicaciones basadas en TCP, RTP no proporciona control de flujo, así que un emisor podría saturar a un receptor enviando más datos que los que puede manejar. Para ayudar a prevenir este problema, las aplicaciones de RTP generalmente envían los datos a una tasa fija.
- Las conversaciones interactivas no pueden tolerar demoras grandes. Una conversación telefónica típica depende generalmente en cierta forma de la interacción entre los que intervienen en la llamada. Mientras mayor sea el nivel de la interacción, menos se toleran las demoras en la conversación. Si la demora es demasiado alta, la conversación tiene un efecto "walkie-talkie"; los usuarios se sienten que deben completar cada oración con alguna palabra clave como para permitir que el receptor sepa que ellos han terminado hablar. Esto puede llegar a ser muy tedioso, y da a ambos una percepción de una pobre calidad de voz.

Cuando una red unificada es ajustada correctamente, muchos tipos de aplicaciones pueden coexistir. Pero, ¿Cómo es posible saber si la calidad de la voz es pobre? Los puntos clave para evaluar un buen desempeño de una red para el tráfico de la voz son el retraso, el jitter, y la pérdida de paquetes. Estos puntos y su impacto en la calidad de la voz son discutidos con todo detalle a continuación.

3.2.4.3 Medida de la calidad de voz en redes IP [3][4][5]

La VoIP enfrenta problemáticas propias de las redes de datos, que se manifiestan como degradaciones en la calidad del servicio percibida por los usuarios (QoE). Estas degradaciones pueden deberse por ejemplo a retardos, jitter (diferencia de retardos) y pérdida de paquetes, entre otros factores. Para que la tecnología de VoIP pueda ser utilizada en las organizaciones, es esencial garantizar una calidad de voz aceptable. Para ello se han desarrollado

métodos para medirla. Estos métodos se dividen en subjetivos y objetivos. Los métodos subjetivos de medida de la calidad de servicio, se basan en conocer directamente la opinión de un gran número de usuarios.

Por otro lado, están los métodos objetivos que a su vez se subdividen en intrusivos (se inyecta una señal de voz conocida en el canal y se estudia su degradación a la salida) y no intrusivos (monitorean ciertos parámetros en un punto de la red y en base a estos permiten establecer en tiempo real la calidad que percibiría un usuario).

Uno de los métodos más utilizados es el MOS (Mean Opinion Score) estandarizada en la recomendación ITU-T P.800 que resulta de un promedio de las apreciaciones de los usuarios. Con evaluaciones directas se califica el audio con valores entre 1 y 5, siendo 5 “Excelente” y 1 “Malo”.

Por otro lado en la recomendación de la ITU-T G.107 ha creado un “modelo” llamado “E-Model”, para estimar o predecir la calidad de la voz en redes IP (VoIP) percibida por un usuario típico, en base a parámetros medibles de la red. El resultado del E-Model es un factor escalar, llamado “R-Valor” (“Transmission Rating Factor”), que puede tomar valores entre 0 y 100. El “E-model” toma en cuenta una gran cantidad de factores que pueden deteriorar la calidad de la voz percibida, como por ejemplo, el uso de compresión, los retardos de la red, así como también los factores “típicos” en telefonía tales como pérdida, ruido y eco. Puede ser aplicado para estimar la calidad de la voz en redes de paquetes, tanto fija como inalámbrica.

El E-Model parte de un puntaje “perfecto” (100) y resta diversos factores que degradan la calidad.

En el anexo I se incluye un detallado análisis de las distintas técnicas de medición.

3.2.4.4 Selección del Codec

El tipo de codec seleccionado puede afectar la calidad de la voz en una red de VoIP. Los codecs de más baja velocidad (G.726-32, G. 729, y los de la familia

G.723.1) consumen menos ancho de banda. Sin embargo, al ser de baja velocidad, afectan la calidad de la señal de audio mucho más que los codecs de alta velocidad, debido a que comprimen la señal con pérdida de información (es decir que en el lado del receptor cuando descomprime los datos no son 100% iguales al original) lo cual reduce la claridad de la voz, introduce demora, y hace que la calidad de la voz sea muy sensible a los datos perdidos. Por otro lado, el hecho de utilizar menos ancho de banda es deseable, porque es posible transportar más llamadas concurrentes sobre el mismo enlace.

Los efectos que producen la digitalización de la voz, pueden modificar el R-Valor apreciablemente. La siguiente tabla lista algunos de los codecs VoIP más comúnmente utilizados con sus valores por defecto. La columna "Packetization Delay" se refiere al retardo que introduce un codec cuando convierte una señal analógica a digital. El Packetization Delay influye en el MOS estimado, al igual que el retardo generado por el jitter buffer delay, que es el retraso generado por los efectos del buffering a fin de evitar la variación en las demoras (jitter).

Tabla 2: Características de seis Codecs más comúnmente utilizados

Codec	Tasa de Datos	Tamaño típico de datagrama	Packetization Delay	Ancho de banda requerido	Jitter Buffer Delay Típico	MOS Máximo teórico
G.711u	64.0 kbps	20 ms	1.0 ms	87.2 kbps	2 datagramas (40 ms)	4.41
G.711a	64.0 kbps	20 ms	1.0 ms	87.2 kbps	2 datagramas (40 ms)	4.41
G.726-32	32.0 kbps	20 ms	1.0 ms	55.2 kbps	2 datagramas (40 ms)	4.22
G.729	8.0 kbps	20 ms	25.0 ms	31.2 kbps	2 datagramas (40 ms)	4.07
G.723.1 MPMLQ	6.3 kbps	30 ms	67.5 ms	21.9 kbps	2 datagramas (60 ms)	3.87
G.723.1 ACELP	5.3 kbps	30 ms	67.5 ms	20.8 kbps	2 datagramas (60 ms)	3.69

La columna “ancho de banda requerido” muestra el verdadero consumo de ancho de banda, que en realidad es más alto que el valor que aparece primero. Por ejemplo el codec G. 729, tiene una tasa de la carga útil de datos de 8 kbps, pero el verdadero uso de ancho de banda es mayor; cuando envía a intervalos de 20 ms, el tamaño de la carga útil es 20 bytes por datagrama. Esto se le agrega a los 40 bytes de encabezamiento de RTP (sí, el encabezamiento es más grande que la carga útil) y algún encabezamiento adicional de Capa 2. Por ejemplo, Ethernet agrega 18 bytes más.

Vale la pena observar que ambos codecs G.723.1 tienen a lo sumo una calidad aceptable. Su MOS máximo teórico está debajo del 4.0, valor necesario para ser considerado bueno.

3.2.4.5 Demora

Un factor importante en la percepción de la calidad de la voz es la demora. La demora total está determinada por varios factores, entre los que se encuentran:

- Demora debida a los algoritmos de compresión: En forma genérica, cuanto mayor es la compresión, más demora hay en el proceso (los “CODECS” requieren más tiempo para codificar cada muestra).

Tabla 3: Codecs con su correspondiente demora

Algoritmo de muestreo/compresión	Demora Típica Introducida
G711 (64 kb/s)	125 μ s
G728 (16 kb/s)	2.5 ms
G729 (8 kb/s)	10 ms
G723 (5,3 o 6,4 kb/s)	30 ms

- Demoras de procesamiento: Es el tiempo involucrado en el procesamiento de la voz para la implementación de los protocolos. Dependen de los procesadores utilizados

- Demoras propias de la red (latencia): Las demoras propias de la red están dadas por la velocidad de transmisión de la misma, la congestión, y las demoras de los equipos de red (routers, gateways, etc.)

Las demoras no afectan directamente la calidad de la voz, sino la calidad de la conversación. Hasta 100 ms son generalmente tolerados, casi sin percepción de los interlocutores. Entre 100 y 200 ms las demoras son notadas. Al acercarse a los 300 ms de demora, la conversación se vuelve poco natural. Pasando los 300 ms la demora se torna crítica, haciendo muy dificultosa la conversación.

Un efecto secundario, generado por las demoras elevadas, es el eco. El eco se debe a que parte de la energía de audio enviada es devuelta por el receptor. En los sistemas telefónicos este efecto no tiene mayor importancia, ya que los retardos o demoras son despreciables, y por lo tanto, el “eco” no es percibido como tal.

Cuando la demora de punta a punta comienza a aumentar, el efecto del eco comienza a percibirse.

3.2.4.6 Eco

Si el tiempo transcurrido desde que se habla hasta que se percibe el retorno de la propia voz es menor a 30 ms, el efecto del eco no es percibido. Asimismo, si el nivel del retorno está por debajo de los -25 dB, el efecto del eco tampoco es percibido. En las conversaciones telefónicas habituales, el eco existe en niveles perceptibles (mayores a -25 dB), pero la demora es mínima, por lo que el eco no es perceptible. Las excepciones son las comunicaciones vía satélite, en las que la demora promedio es del orden de los 150 ms. Para estos casos, las compañías telefónicas disponen generalmente de sofisticados equipos supresores de eco.

3.2.4.7 Variaciones en la demora (Jitter)

Cuantifica el efecto del retardo total en la red ocasionado por los paquetes que llegan al receptor. Los paquetes transmitidos a intervalos iguales desde el

transmisor llegan al receptor a intervalos irregulares. El jitter es la variación de retardo, el cual es calculado en base al tiempo de arribo de paquetes exitosos. El excesivo jitter hace que la voz sea entrecortada y con dificultades para entenderse. El jitter buffer (el buffer mantiene paquetes entrantes por una determinada cantidad de tiempo) es usado para neutralizar los efectos de las fluctuaciones de la red y crear un flujo constante de paquetes en la recepción.

Remover el jitter requiere la recolección de paquetes y retención de estos el tiempo suficiente para que el paquete más lento llegue a tiempo para ser interpretado en la secuencia correcta.

El conflicto que se produce al querer mezclar el retardo con la supresión del jitter, ha generado varios esquemas para adaptar el tamaño del buffer de jitter a los requerimientos de variaciones de tiempo de la red. Esta adaptación tiene la meta explícita de minimizar el tamaño y retardo del buffer de jitter mientras que al mismo tiempo previene la sobrecarga del buffer causado por el jitter. Se han hecho dos esquemas para adaptar el tamaño del buffer, la selección del esquema apropiado depende del tipo de paquete usado en la red.

En el primero de ellos, se mide la variación del nivel de paquetes en el buffer de jitter durante un periodo de tiempo e incrementalmente adaptar el tamaño del buffer para que coincida con el jitter calculado. Esto funciona mejor con redes que tienen jitter constante en un periodo de tiempo, como las redes ATM

La segunda técnica es contar el número de paquetes que llegan tarde y obtener una relación de estos paquetes respecto al número de paquetes que son procesados exitosamente. Esta relación es usada para ajustar el buffer de jitter a un valor permisible de paquetes tardíos predeterminada. Esto funciona mejor con redes que tengan intervalos de arribo de paquetes altamente variable, como las redes IP. Además de estas técnicas, la red debe estar configurada y gestionada para que tenga retardos y jitter mínimos, permitiendo así un alto QoS.

3.2.4.8 Tamaño de los paquetes

El “tamaño” de los paquetes influye en dos aspectos fundamentales en la transmisión de la voz sobre redes de datos: La demora y el ancho de banda requerido.

Para poder transmitir las muestras codificadas de voz sobre una red de datos, es necesario armar paquetes según los protocolos de datos utilizados (por ejemplo, IP). Un paquete de datos puede contener varias muestras de voz. Por ello, es necesario esperar a recibir varias muestras para poder armar y enviar el paquete.

Esto introduce un retardo o demora en la transmisión. Desde éste punto de vista, parece conveniente armar paquetes con la mínima cantidad de muestras de voz (por ejemplo, un paquete por cada muestra). Sin embargo, hay que tener en cuenta que cada paquete tiene una cantidad mínima de información (bytes) de control (encabezamiento del paquete, origen, destino, etc.). Esta información genera una “sobrecarga” u “overhead” que no es la información real que se quiere transmitir, pero afecta al tamaño total del paquete, y por lo tanto al ancho de banda.

La duración de las “ventanas” de voz se encuentran entre 10 a 30 ms, valor que se aporta a la demora total.

3.2.4.9 Pérdida de datos

Los Datagramas de VoIP son enviados utilizando RTP. A pesar de que cada datagrama de RTP contenga un número de secuencia para ayudar a detectar a las aplicaciones la pérdida de datos y los datagramas recibidos fuera de orden, no hay suficiente tiempo para retransmitirlos.

Cualquier datagrama perdido perjudica la calidad de la voz, porque cuando se pierde uno durante la transmisión, se puede perder una sílaba o una palabra entera de una conversación. Por lo tanto, la pérdida de datos es un factor fundamental para tener en cuenta al momento de calcular el MOS.

Para medir la pérdida de datos, cada lado registra los bytes de datos enviados. El emisor le dice al receptor cuántos bytes le envió, y el receptor compara ese valor al número de bytes recibidos con el fin de determinar los datos perdidos.

Pueden existir varias causas por las que se producen pérdidas de datos. Lo más habitual es la pérdida aleatoria. Eso ocurre cuando por ejemplo hay una congestión en la red, por lo que algún datagrama puede perderse ocasionalmente. Diferente es el caso cuando se producen ráfagas de pérdidas de datos (cuando hay una pérdida consecutiva de datagramas).

Quien escucha no advierte fácilmente el deterioro de la calidad si la pérdida es distribuida aleatoriamente, con apenas unos pocos datagramas. Sin embargo, disminuye notablemente la calidad cuando en la transmisión hay una combinación entre la pérdida y la demora.

Dos razones primarias explican por qué los datagramas de RTP pueden perderse en una red de datos:

- Existe mucho tráfico en la red, por lo que los datagramas se descartan por congestión
- Existe mucha variación del retardo (jitter), por lo que se descartan datagramas debido a que llegan al "jitter buffer" del receptor demasiado tarde o demasiado temprano.

Una correcta evaluación de una red sobre la cual se implementará VoIP, debe incluir una estadística de la pérdida de datagramas, expresada como un porcentaje del total de enviados. También podría medirse la pérdida como un porcentaje de datos enviados en un cierto momento del día, promediado sobre el curso de todos días en la evaluación.

Una buena calidad de voz es esencial para el éxito de una implementación de VoIP—debido a que los usuarios están acostumbrados a una alta calidad del sistema telefónico actual.

4 BENEFICIOS E INCONVENIENTES DE LA UNIFICACIÓN DE REDES [1][2]

Mediante la adopción de la tecnología VoIP y la telefonía IP pueden alcanzarse beneficios en la organización, si la decisión de implementación es determinada por el negocio y no por la tecnología. Para que el proyecto resulte exitoso, es necesario poseer un claro entendimiento de las necesidades del negocio y los objetivos organizativos estratégicos que pueden cumplirse mediante los nuevos aplicativos de telefonía IP.

A partir de la disponibilidad comercial de la tecnología VoIP, la reducción de costos ha sido el mayor impulsor. El uso de líneas de datos en lugar de PSTN permite el uso de toll-bypass⁷ entre las instalaciones de la organización. Sin embargo, muchas organizaciones pudieron postergar la implementación de la tecnología VoIP mediante la negociación de descuentos por volumen sobre sus servicios tradicionales de telefonía.

Además del caso de toll-bypass, existen muchos otros ahorros de costos, demostrados por distintos factores, tales como: mantenimiento reducido, disminución de puntos de accesos PSTN, infraestructura estandarizada y administración simplificada. Sin embargo, para la mayoría de las grandes organizaciones, el ahorro de costos de por sí no constituye un argumento convincente para su adopción, comparado con los riesgos que conllevan el cambio y la implementación.

A continuación se detallan las principales ventajas de la unificación de las redes.

4.1 AHORRO DE COSTOS

El costo inicial de una implementación de una solución de VoIP puede ser bastante elevado (dependiendo de la envergadura de la empresa puede rondar

⁷ En el apartado 6.1.1 se detalla el concepto.

los u\$s 100.000⁸) debido a que requiere la instalación de nuevo equipamiento y probablemente demanda inversiones para adaptar la infraestructura existente.

Sin embargo, existen opciones que facilitan la ejecución del proyecto. Por ejemplo, es posible la implementación gradual de la solución. Cada organización tiene generalmente una variedad de sitios, estos sitios podrían ser pequeñas ramas, oficinas regionales, o la sede central. Cada uno de estos sitios podrían requerir nuevas facilidades o mejorar las existentes, lo que implicaría el reemplazo de la central telefónica actual. Otra posibilidad es la utilización de software libre (se detalla más adelante) que permite con muy poca inversión realizar pruebas y eventualmente pequeñas implementaciones con prácticamente las mismas prestaciones que una migración completa.

Según un estudio realizado por Cisco System [1], el mejor enfoque a una implementación de VoIP es de verlo como una inversión en la cual los probables ahorros de costo de VoIP pueden ocurrir en varias áreas. La siguiente figura muestra una estimación de las posibles áreas en las que se obtiene ahorros:

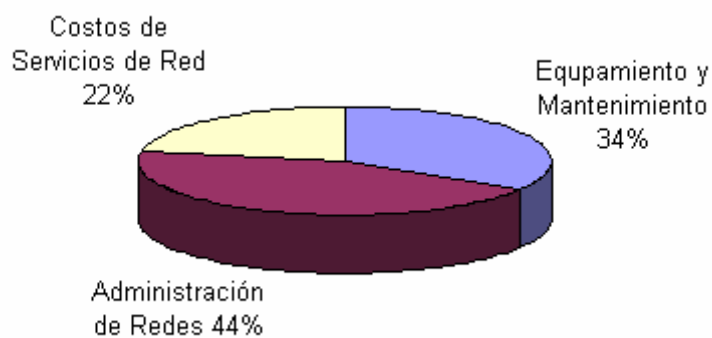


Figura 10 Contribución al ahorro de Costos con VoIP

⁸ Según estudio realizado por la consultora Nemertes Research
<http://www.networkworld.com/research/2005/071105-voip.html?page=1>

4.1.1 Ahorros en costos del servicio de red [18]

En los primeros momentos de VoIP, los responsables de TI vieron en la reducción de costos de las llamadas de larga distancia la principal ventaja de la nueva tecnología. Pero en la actualidad las cosas han cambiado. En promedio, las empresas gastan de 2 a 4 centavos de dólar por minuto en llamadas de larga distancia⁹. Siendo este el caso, la VoIP no reducirá significativamente estos precios. Ahora bien, en llamadas internacionales los ahorros pueden ser de entre el 20% y el 40% por minuto, según los países con que se hable. Según el estudio propuesto por la consultora Nemertes Research [18], con las redes unificadas las empresas reducen sus costos de telecomunicaciones en entre un 25% y un 60%, teniendo en cuenta el costo de las llamadas de larga distancia por minuto, bucle local (última milla), líneas telefónicas y servicios audio/vídeo. El ahorro en el bucle local se produce fundamentalmente en las grandes empresas con más de dos líneas de acceso en una determinada localización. Es importante tener presente que la WAN necesitará probablemente alrededor de un 30% más de disponibilidad para tratar el tráfico de voz. Como la mayor parte de las empresas tienen una utilización media de menos del 50%, generalmente tienen suficiente capacidad de reserva –con las herramientas de gestión adecuadas– para añadir ancho de banda sólo en las localizaciones clave. Al fin y al cabo, el valor de la unificación es reducir la capacidad excedente que existe tanto en las redes de voz como en la de datos.

Tabla 4 Ahorros de la Unificación [18]

	<i>Pequeñas</i>	<i>Medianas</i>	<i>Grandes</i>
Llamadas internacionales por minuto	40%	20%	20% - 40%
Líneas de acceso (por sitio)	0	1 a 2	2 a 6
Costo medio mensual (x400 c/u)	0	\$400 a \$800	\$800 a \$2.400
Ahorros anuales		\$ 4.800 a \$9.600	\$9600 a \$28.800
Líneas convencionales	95%	75%	70%
Costo promedio (\$32 por línea)	Varía dependiendo el total de líneas		

⁹ Tarifa para comunicaciones interurbanas clave 2

En la telefonía tradicional, la PSTN pertenece al proveedor telefónico. Cuando realiza una llamada, se factura por el uso de esta red (variando en relación a la distancia). En una implementación de VoIP la distancia no importa. Una típica implementación es la toll bypass, donde la organización posee la red de datos o abona a un proveedor de servicios Internet por un cierto ancho de banda, entonces VoIP emplea una infraestructura existente por lo que las llamadas de VoIP podrían ser consideradas libre.

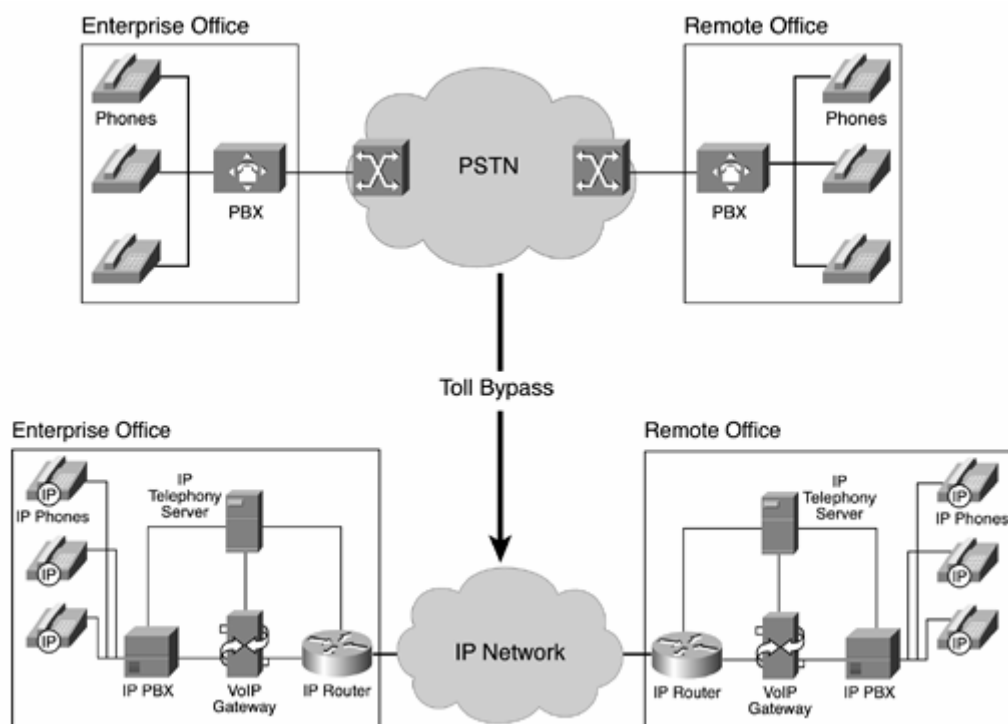


Figura 11: Toll Bypass [1]

Según el análisis realizado en el Anexo II, una organización de mediana envergadura utilizando la información de los costos de llamadas, los destinos, la cantidad de llamadas y los referentes a los vínculos de datos, se concluyó que no resultaba rentable tal unificación¹⁰.

¹⁰ Ver anexo II

4.1.2 Infraestructura simple de redes

Una sola red puede bajar el costo de propiedad de la misma. Cuando aumenta la cantidad de usuarios que demandan servicios, en vez de comprar, alquilar o ampliar una PBX (con la infraestructura de red inherente a esta ampliación), se requiere solamente invertir en la infraestructura de la red IP. En consecuencia, tanto la voz como los datos, amortizan la inversión realizada. Adicionalmente podemos destacar los siguientes aspectos:

- Costo de cableado de puestos de trabajo [19]: Conectar una computadora personal y un teléfono de IP en el mismo puerto de Ethernet puede reducir el gasto de cableado en más de un 50 por ciento por escritorio. Es decir que para nuevas implementaciones, no es requisito instalar una doble boca de red categoría 5 o superior para dar servicios al puesto de trabajo. Se incluye en el Anexo III, un análisis detallado de los costos que implican ambas soluciones.
- Ahorros en movimientos, adicionales y cambios [18]: Uno de los beneficios mejor conocidos de la VoIP son los ahorros en lo que se refiere a movimientos, adiciones y cambios. En promedio, las empresas gastan 105 dólares en este ítem, con un amplio abanico de costos que va de los 60 a los 250 dólares. En cualquier caso, las empresas ahorran por este concepto entre un 89% y un 98%, dependiendo de su tamaño y del número de movimientos, adiciones y cambios que realicen por año. Los ahorros no son tan grandes cuando las organizaciones ya realizan sus propios movimientos y cambios con las PBX convencionales. Aún así se logran reducir los costos globales, pero el volumen de dólares no es tan grande. Estas tareas, en los entornos de PBX convencionales, llevan alrededor de 45 minutos, mientras que en entornos de IP PBX sólo suponen 10 minutos. El costo medio para un movimiento o cambio interno en TDM es de 32,52 dólares y de 5 dólares para una IP PBX, o lo que es mismo, la VoIP representa un ahorro en este apartado del 85%.

- Fácil inclusión de infraestructura wireless [1]: Una sola red puede incorporar fácilmente esta infraestructura. En algunas implementaciones donde es dificultoso la vinculación de los puestos de trabajo utilizando el cableado convencional, se utilizan soluciones inalámbricas. Estas soluciones soportan fácilmente despliegues de VoIP (se requiere analizar posibles problemas en referencia la seguridad y potenciales inconvenientes de desempeño).
- Centralización [1] [19]: El procesamiento centralizado de llamadas, permite una organización a consolidar su equipo de procesamiento de llamadas central en uno o en varios sitios y entonces extender los servicios de voz a cada sitio dentro de la organización. Para muchas firmas, esto permite prescindir de las PBX y sistemas críticos en cada sitio. El procesamiento centralizado de llamadas permite reducir drásticamente los costos de equipamiento, mantenimiento, y soporte técnico.
- Ahorros de personal [18]: Los ahorros en personal no supondrán lo que hubieran podido suponer en los tiempos del boom tecnológico. La mayoría de las organizaciones ya han reducido su personal técnico por evidentes razones de costos, y los responsables de TI que, tras adoptar la VoIP, aseguran haber pensado en algún momento despedir a una o más personas, no lo han hecho finalmente por su formación global, siempre útil para la empresa, y porque así podrían reducirles su sobrecargado volumen de trabajo. Por lo tanto, las empresas estudiadas ahorraron en este apartado parte del presupuesto de TI (no es una cifra demasiado significativa pero ciertamente añade valor al ROI) a causa de la implementación de la convergencia.

4.2 OTROS BENEFICIOS

Unificación de la transmisión de mensajes [1] [2]: Integración de diversas formas de comunicación (tales como e-mail, teléfono, mensajes instantáneos, fax) para permitir el envío y recepción desde una única interfaz.

Integración mediante CRM¹¹ [2]: La tecnología VoIP permite que la persona que llama sea reconocida por su número y la información aparece en pantalla en la central telefónica, antes de que conteste la llamada. A pesar de que esta tecnología está actualmente disponible mediante el tradicional sistema PABX, ahora resulta más fácil con la tecnología VoIP.

Integración con sistemas ERP¹² [2]: La integración de los auriculares IP con la aplicaciones ERP (tales como SAP) para la mejora en la facturación y el control de llamadas. Esto les permite a las organizaciones imputar internamente el uso del teléfono a los distintos departamentos.

Fácil incorporación de nuevas características [1]: Pueden añadirse a una implementación de VoIP mucho más rápida y fácilmente que en una PBX tradicional. Los sistemas tradicionales de PBX, son propietarios por naturaleza, por lo que la incorporación de nuevas características dependen del vendedor de PBX. Los sistemas de VoIP están basados en estándares abiertos. Los mismos están basados en la arquitectura cliente/servidor, lo cual permite utilizar distintas plataformas de desarrollo y estándares conocidos lo que fomenta el desarrollo de nuevas aplicaciones y características.

¹¹ Metodologías y Software que ayudan a una organización a gestionar las relaciones con el cliente.

¹² Un sistema que permite a las organizaciones administrar los recursos de todo el negocio.

4.3 OBSTÁCULOS

Sin una adecuada administración de riesgos, la implementación de la tecnología VoIP puede causar un daño en la reputación o un efecto negativo en el servicio de atención al cliente, o afectar los resultados finales. El principal riesgo es que la implementación de la tecnología VoIP no satisfaga las necesidades del negocio. Las organizaciones tienen que entender los efectos que tienen estas tecnologías en sus procesos de negocio, para luego alinearlas con su estrategia comercial.

Los principales riesgos pueden clasificarse, en términos generales, fundamentalmente en dos áreas:

- Riesgos del proyecto
- Riesgos de seguridad

4.3.1 Aspectos a considerar

Como se mencionó anteriormente, la implementación de la tecnología VoIP y la telefonía IP puede realizarse en toda la organización o en determinados procesos clave (tales como el centro de atención a clientes), donde pueden alcanzarse los beneficios más inmediatos. En cualquiera de los casos, es posible que se produzca un cambio significativo en la infraestructura organizativa, por lo tanto, puede ser necesaria la aplicación de principios firmes de administración de proyectos. Algunos ejemplos de riesgos de implementación y sus potenciales efectos:

- Falta de una evaluación adecuada de ancho de banda y otros requerimientos de calidad. Lo que puede generar aumentos

inesperados de los costos (por ejemplo, ancho de banda adicional requerido o mejora en el cableado).

- Falta de recursos internos con los conocimientos necesarios. Esto produciría una baja calidad del proyecto y/o demoras.
- Caso de negocio incierto, el cual no permita lograr los beneficios esperados, por ejemplo, alcanzar los objetivos tecnológicos sin ninguna ventaja en el negocio.

Una parte de la administración de riesgos del proyecto requiere la consideración del impacto cultural sobre la organización. Toda implementación de tecnología afectará al usuario final.

Algunos de los riesgos culturales relacionados con la implementación de la tecnología VoIP incluyen los siguientes:

- El cambio de la telefonía (una herramienta de trabajo clave) sin pedir asesoramiento y sin contar con la aceptación del usuario final podría traer consecuencias tales como el rechazo de las nuevas características o la funcionalidad.
- En varias organizaciones, las comunicaciones de voz y de datos son manejadas por grupos separados. Por lo tanto si se decide que es necesario la unificación de personal y sus funciones, se debe comenzar la planificación de una reestructuración previa a la implementación.
- La segregación de funciones del servicio de telefonía IP, siendo una de las partes responsable de la red y la otra responsable de los servidores de aplicaciones. Puede existir una falta de claridad con

respecto a las funciones y responsabilidades clave, lo que genera ineficiencias.

4.3.2 Riesgos de Seguridad

La introducción de la Tecnología VoIP implica que el tráfico de voz debe tratarse en el mismo contexto que los datos, ya que comparten el mismo medio. El aumento de la complejidad técnica al integrar voz y datos en una red, aumenta a su vez la dependencia de la organización en la disponibilidad de la red. Muchas organizaciones no reconocen que con este incremento de la complejidad técnica, aumentan los riesgos de seguridad y disponibilidad de la red, que deben ser adecuadamente evaluados, así como se deben aplicar las medidas necesarias de administración del riesgo.

A medida que se reemplazan los sistemas PABX por computadoras y equipos de red con sistemas operativos convencionales, las redes se tornarán cada vez más vulnerables a las amenazas comunes, tales como ataques de virus y de negación de servicios (DoS). Las exposiciones que se experimentaron con los sistemas convencionales son más usuales con la tecnología VoIP y Telefonía IP, ya que el conocimiento sobre redes es mayor. Cada punto de ingreso a la red es un potencial punto de ataque y por lo tanto la administración del riesgo es esencial. Las técnicas de hacking en las redes de VoIP se encuentran ampliamente publicadas, por lo que implica un importante riesgo. Por otro lado, el hecho de que la voz y datos compartan el mismo medio, aumenta los riesgos asociados con la disponibilidad y requiere una adecuada evaluación. La transmisión de voz es una aplicación de tiempo real crítica para toda organización y no se puede comprometer su calidad. Las amenazas a la disponibilidad varían desde pequeños errores que pueden afectar la calidad de la voz hasta interrupciones del sistema que afectan a la red en forma parcial o total.

5 PROPUESTA

Para abordar la complejidad que implica un proyecto de unificación de redes, se propone la siguiente guía de pasos

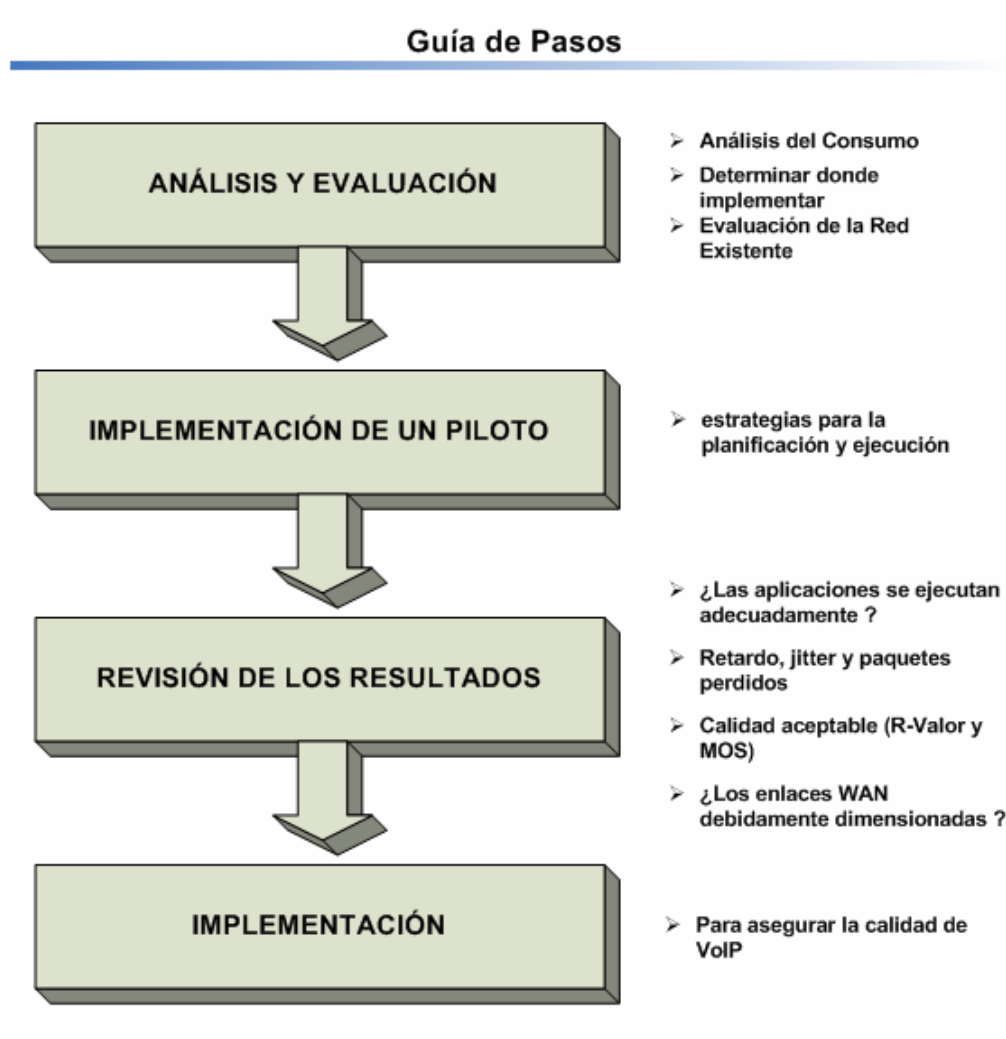


Figura 12: Esquema de la guía de pasos

Esta secuencia de pasos, en su forma básica, tiene que ver con la manera en que habitualmente se enfrenta cualquier gran implementación. En el caso particular del presente trabajo de tesis, se enfocan las tareas a realizar durante la etapa de análisis y evaluación. En el Anexo I, se ha elaborado una guía simplificada de los ítems aquí desarrollados. A modo de resumen se describen los siguientes puntos:

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

Situación actual. La información fundamental para iniciar la planificación, es definir el punto de inicio en base a la realidad actual.

Qué cosas hay que decidir: el alcance de la implementación, los componentes que la comprenden y la organización de los mismos.

Obtención de Métricas: El objetivo es obtener medidas de la realidad actual de tal forma que permita dimensionar los requerimientos de la futura implementación. Por otro lado, también se describen las técnicas para que en función a los datos obtenidos durante las mediciones de la situación inicial, los mismos se utilicen para evaluar el comportamiento de la red de datos y detectar posibles falencias antes de la implementación de la tecnología de VoIP.

IMPLEMENTACIÓN DE UN PILOTO

La implementación de un piloto permite al equipo de proyecto, una aproximación bastante realista a la tecnología. Permite sacar conclusiones, detectar futuros problemas y aprender a aislarlos y resolverlos. Se plantean varias estrategias para la planificación y ejecución de la prueba piloto.

REVISIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de los pasos anteriores deber permitir el cumplimiento de las siguientes pautas:

- Las aplicaciones se ejecutan adecuadamente utilizando la red existente LAN o WAN.

- Las medidas de Retardo, jitter y paquetes perdidos sobre la LAN o WAN no superan los umbrales permitidos para VoIP.
- La calidad esperada (R-Valor y MOS) es aceptable para el ambiente propuesto.
- Los enlaces WAN hacia cada uno de las sucursales están debidamente dimensionadas para soportar el transporte de los valores picos de datos y VoIP.

Si las respuestas a cada uno de los puntos anteriores es “si”, están dadas las condiciones para realizar correctamente la implementación de VoIP. En caso de ser negativa, significa que se requieren revisiones para garantizar una correcta implementación.

5.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN [1]

La planificación es la fase más importante para una implementación exitosa de VoIP. Esta fase puede tomar una porción significativa del ciclo de vida del proyecto. Una buena planificación permite contestar muchas preguntas y además permite reunir gran cantidad de información. Hay dos grandes interrogantes a contestar:

- ¿Cuál es la situación actual? La información fundamental para iniciar la planificación, es definir el punto de inicio en base a la realidad actual.
- ¿Hacia dónde se quiere ir? .Qué cosas necesita decidir, el alcance de la implementación y los componentes que la comprenden.

La planificación de una implementación de VoIP, comienza reuniendo información acerca del estado actual de la red de datos y su utilización. Se

debe compilar esta información con el objeto de tener una mejor comprensión de la realidad actual para alcanzar la meta final: una implementación exitosa de VoIP. Esta información es subdividida en cuatro categorías:

- Uso de telefonía— ¿Cuál es el actual volumen de llamadas? ¿Cuál es el perfil de esas llamadas? (incluyendo sus frecuencias típicas, duración, destinos y flujo de llamadas).
- Confiabilidad— ¿Cuál es la confiabilidad actual de las Redes de Datos? ¿Cuál es la confiabilidad esperada? ¿Qué pasos son necesarios para obtener la confiabilidad esperada?
- Calidad de voz en la red VoIP— ¿Cuál es la calidad de la voz actual? ¿Cuál es la calidad de voz esperada? ¿Qué pasos son necesarios para obtener la calidad de voz esperada?
- Disponibilidad de VoIP— ¿Cómo se evalúa la disponibilidad de VoIP? ¿Qué es necesario para realizar una evaluación de la disponibilidad?

Para cada una de las categorías de preguntas, se plantea esta guía con el objeto de obtener respuestas útiles¹³. La misma se describe a continuación:

5.1.1 Uso actual de la Telefonía

Las características fundamentales de las llamadas telefónicas que viajan sobre el sistema telefónico existente se conocen bien; los datos generados se almacenan en algún lugar. Para entender cuántos usuarios y cuántas llamadas debe soportar el sistema de VoIP, se requiere observar los registros del sistema actual. El objetivo es determinar:

¹³ Un detalle de la guía de pasos puede verse en Anexo I.

- Número de llamadas
- Número de Usuarios (cantidad de números distintos)
- Duración de las llamadas
- Número actual de llamadas
- Perfil de consumo—Estadísticas de uso, picos y promedios
 - ¿Cuándo ocurren?
 - ¿Por cuánto tiempo?
- Ubicación y flujo de llamadas: ¿Qué porcentaje de llamadas se generan en cada sitio? ¿Qué porcentaje ocurre dentro de la organización, desde qué sitio a que sitio? ¿Cuántas llamadas salientes se generan?

Toda esta información ayuda a planificar la implementación de VoIP porque permite entender los requerimientos y expectativas que deben ser cumplidas.

5.1.1.1 Registros del detalle de las llamadas

Los registros de la central telefónica actual son una muy buena fuente de datos del probable volumen de llamadas que tendrá que manejar una red. Los registros incluyen información detallada de la fecha y hora de cada llamada, el número de destino del llamado, la duración, y el costo. Además se almacena gran cantidad de información adicional, tal como información acerca de llamadas externas, si un intento de llamada fue completada o no, la cuenta a la que una llamada debe ser facturada, etcétera. Una vez obtenida la información,

es posible la elaboración de las estadísticas que permitan determinar el perfil de consumo de la organización.

5.1.1.2 Estadísticas del Volumen de Llamadas

En el mundo de la telefonía, la hora de mayor tráfico se calcula frecuentemente en erlangs. Un erlang es un número que representa la ocupación de una línea de teléfono particular. Un valor de 1 erlang significa que la línea telefónica tiene un porcentaje de ocupación del 100 %. De igual modo, en las estadísticas de telefonía, se suele incluir el cálculo de un Erlang B, el cual se basa en tres parámetros relevantes:

1. Cantidad de tráfico en horas pico - Busy hour traffic (BHT): Es la cantidad del tráfico de llamadas (en Erlangs) que debe ser soportado durante una hora pico de tráfico.
2. Número de llamadas bloqueadas por saturación de servicio: Es el fracaso de llamadas debido a un número insuficiente de líneas disponibles. Por ejemplo: 0,03 significa que 3 llamadas se bloquearon sobre 100 intentos de llamadas.
3. Número total de líneas del sistema.

Así, conociendo 2 de los parámetros, se puede calcular el tercero.

Existen calculadoras¹⁴ que permiten fácilmente calcular el Erlang B para modelar distintos escenarios.

¹⁴ Para mayor detalle, puede consultar <http://www.erlang.com>.

5.1.1.3 Análisis del flujo de llamadas

Para determinar dónde implementar una solución de VoIP, el flujo de llamadas es una estadística especialmente útil. Si un gran porcentaje de llamadas se generan dentro de un sitio en particular (tráfico intrasite), esa ubicación puede ser ideal para VoIP sobre la LAN. Si existe un alto volumen de llamadas entre dos sitios (tráfico intersite), tales sitios pueden ser candidatos para VoIP porque es posible aprovechar las ventajas de implementar toll-bypass.

Además de examinar el flujo de llamadas dentro de la red corporativa, es posible determinar cuántas llamadas viajan desde y hacia la Central Pública. Analizando los datos en referencia a ocupación actual (por ejemplo por hora) es posible planificar la capacidad requerida por la red de datos para el momento en que se agregue el tráfico de VoIP. Es por esto, que la información que se reúna del estado actual del uso de la telefonía, será esencial para las etapas posteriores.

5.1.2 Confiabilidad¹⁵

Los usuarios esperan un alto nivel de disponibilidad del sistema telefónico. Décadas de conocimiento, la experiencia, y la innovación han logrado una muy alta disponibilidad del servicio. Cuando un usuario levanta el tubo telefónico, obtiene tono de marcado casi instantáneamente. Las posibilidades de indisponibilidad del servicio telefónico para un usuario están alrededor de 5 minutos por año. El nivel de la disponibilidad que se entrega en los EE.UU. a veces referido como "cinco nueves," significa que una señal de marcado está el 99,999 por ciento del tiempo disponible. La siguiente tabla muestra la cantidad de tiempo de inactividad para porcentajes diferentes de disponibilidad.

¹⁵ Un análisis detallado puede encontrarse en http://www.cisco.com/en/US/tech/tk869/tk769/tech_white_papers_list.html.

Tabla 5: “Nueves” de confiabilidad con sus correspondientes tiempos de caídas

Disponibilidad	Tiempo de caída por año
99,00%	3 días, 15 horas, 36 minutos
99,50%	1 días, 19 horas, 48 minutos
99,90%	8 horas, 46 minutos
99,95%	4 horas, 23 minutos
99,99%	53 minutos
99,999%	5 minutos
99,9999%	30 segundos

Para determinar la confiabilidad de un sistema, se requiere obtener el porcentaje de disponibilidad. Disponibilidad se define como:

Disponibilidad = Tiempo medio entre fallas / tiempo total

donde:

Tiempo medio entre fallas = Tiempo Promedio entre cada falla o fuera de servicio

Tiempo total = Tiempo medio entre fallas + Tiempo medio para reparar las fallas

Otra forma de ver la disponibilidad es comparar el tiempo total de caída con el tiempo total transcurrido:

Disponibilidad = $1 - (\text{Tiempo de falla del sistema})/(\text{Tiempo transcurrido})$

A veces, la medida clave es la indisponibilidad, la cual es posible obtener fácilmente desde la disponibilidad:

Indisponibilidad = $1 - \text{Disponibilidad}$

Por lo tanto, si tomamos como referencia la tabla “Nueves de disponibilidad con sus correspondientes tiempos de caídas”, la disponibilidad se calcularía como sigue:

$$.99999 = 1 - (5 / 365 * 24 * 60) = 1 - (5 / 525.600)$$

Si se compara el nivel de confiabilidad de las centrales telefónicas con lo logrado por la mayoría de las redes de datos, es posible reconocer el gran desafío que implica una implementación de VoIP. Las redes de datos todavía no han alcanzado la confiabilidad de las Centrales Telefónicas. Por el contrario, generan fallas periódicas. Estas fallas de la red son causadas por una variedad de acontecimientos, tales como los errores de usuario, los problemas de software, y otros fallos de la tecnología, como es mostrado en la siguiente figura [13]

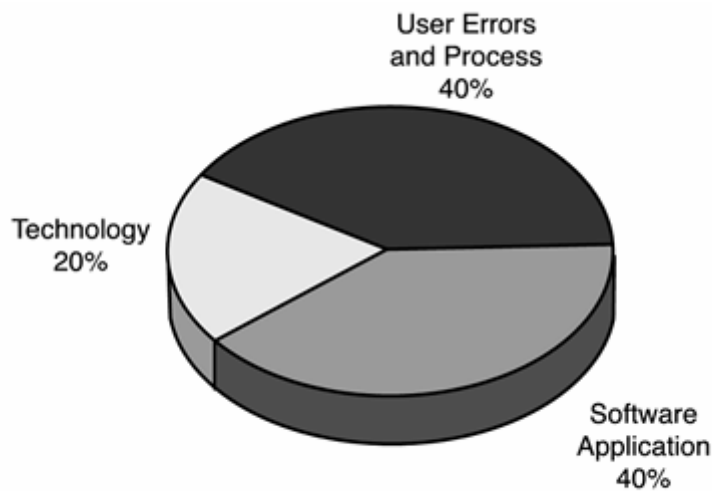


Figura 13: Razones por las que se produce la indisponibilidad del servicio [1]

Aquí puede evidenciarse que las causas de indisponibilidad de los sistemas incluyen lo siguiente:

- Errores de usuarios y procesos— En referencia a la administración, consistencia de procesos.

- Tecnología— Hardware, enlaces de red, desastres naturales.
- Software de aplicación— problemas de software, performance y carga excesiva.

Para tener un punto de referencia, la confiabilidad estimada de un sistema de computación es aproximadamente 98,5 % [14]. Esto implicaría que se espera que el equipo esté 5 días y 11,4 horas al año fuera de servicio. Esto incluye no solo la red de datos y sus componentes, sino también las aplicaciones de core de la empresa, los servidores y mainframes.

Aunque las aplicaciones de core del negocio, los servidores y mainframes sean importantes para la organización, no es necesario alcanzar una confiabilidad de cinco nueves como en VoIP. Por lo tanto para VoIP, se debe hacer foco específicamente en dos áreas:

- La confiabilidad de la red y sus componentes
- La confiabilidad de los componentes de VoIP (servidor de VoIP, gateways, IP PBXs, etc.)

Lo primero a considerar es la confiabilidad de la red. Una encuesta realizada por Merit Project [14] muestra que la mayoría de las fallas de la red provienen de problemas de performance, tales como picos de carga y ancho de banda insuficiente. La mayoría de las veces, el problema es que se genera demasiado tráfico para la capacidad existente. Intrusiones de seguridad, especialmente los ataques de negación de servicio (DoS), sólo aportan una pequeña cantidad de casos de fallas en la red.

Un segundo punto a considerar, es que los servidores de VoIP son un componente clave, debido a que ejecutan sistemas operativos complejos sobre los cuales corren aplicaciones complejas. Estos equipos pueden fallar

por las tres razones vistas anteriormente. Se requiere que los servidores sean altamente confiables, y que tengan un mantenimiento acorde, para lograr una aceptable disponibilidad de VoIP.

Por lo tanto, para asegurar la confiabilidad de VoIP, se recomienda:

- Tener un fuerte control del tráfico de la red. Estudie la conformación de tráfico actual, incluyendo las aplicaciones, flujos y prioridades. Estudie qué nivel de tráfico tendrá cuando implemente completamente VoIP. Controle lo más precisamente posible, lo que fluye desde y hacia fuera de la red (utilizando como referencia por ejemplo el tráfico del firewall). Utilice políticas de administración de la red para controlar la prioridad de cada tipo del tráfico. Aplique políticas de administración de usuario, para controlar lo que cada usuario puede hacer y definir qué usuarios pueden tener accesos a los recursos.
- Instale servidores, gateway y equipos IP PBX de muy buena calidad y adminístrelos de forma segura. Instale el software requerido, y defina adecuadamente el acceso a los recursos. Controle minuciosamente los cambios y quién los puede realizar. Protéjalos apropiadamente para evitar el acceso físico o intrusiones de red. Prevea una fuente de alimentación ininterrumpible de energía eléctrica (UPS) para evitar tiempo de inactividad en el servicio por falta de energía.

Después de seguir estas pautas, también deben ser examinados los componentes individuales que tengan que ver con el funcionamiento de la red. Según Cisco Systems [15], se identifican como elementos clave los siguientes componentes:

- Confiabilidad de Hardware
- Confiabilidad de Software

- Confiabilidad de los enlaces de red y proveedores de servicios de red
- Diseño de la Red
- Errores de usuarios y management de procesos

5.1.2.1 Confiabilidad de Hardware

Inevitablemente el hardware falla, por esto es importante adquirir hardware robusto, resistente a fallas. Para lograrlo generalmente los fabricantes duplican componentes críticos como por ejemplo, incluir múltiples CPUs en los dispositivos, fuentes de alimentación y de ventilación redundante. Si uno de estos componentes falla, automáticamente entra en funcionamiento el componente duplicado por lo que el dispositivo puede continuar operando.

El Balanceo de carga también proporciona robustez y escalabilidad. En un escenario de balanceo de carga, múltiples dispositivos son configurados para compartir la carga de la red o el servidor. Por ejemplo, un grupo de servidores web pueden configurarse para responder en forma alternada a los pedidos para el mismo contenido del sitio web. El balanceo de carga de servidores web es bastante habitual, y proporciona continuidad de prestaciones en el caso en que un servidor del grupo falle.

Una tercera técnica para lograr disponibilidad de los servicios es el Clustering, el cual permite que múltiples dispositivos se comporten como una sola entidad. Típicamente dentro de cluster, un dispositivo sirve como primario o publicador. El resto actúan como respaldo. Si el dispositivo primario falla, uno de respaldo toma el control de manera transparente para los usuarios. Además de disponibilidad, el clustering, facilita la administración y la escalabilidad. El grupo completo de dispositivos puede ser manejado como una sola unidad y agrupados en clusters, pueden soportar a más usuarios que un solo dispositivo

aislado. El clustering es una buena forma de mejorar la confiabilidad de los servidores de VoIP.

5.1.2.2 Confiabilidad de Software

Como primera sugerencia para mejorar la confiabilidad de los servidores de VoIP, no instale otros programas ni aplicaciones. Aunque los sistemas operativos de los servidores traten de aminorar el impacto que una aplicación puede tener sobre otra, algunos programas pueden requerir la utilización de grandes cantidades de CPU y memoria, generando problemas de desempeño en el servidor. Peor aún, los programas que operan en modo "kernel", potencialmente pueden causar fallas en él. Por lo tanto, limite las aplicaciones instaladas en los servidores críticos, a las indispensables para operar y manejar el servidor. Muchos vendedores ofrecen la certificación de sus programas para asegurar que los mismos, no afectan el desempeño del servidor.

Para el caso de requerirse actualizaciones de software, se deben probar cuidadosamente y aplicar en etapas. Por ejemplo, como metodología de implementación, sería importante aplicar las actualizaciones a un número limitado de servidores y esperar los efectos antes de aplicarlas al resto de los servidores. Por otro lado, antes de instalar una actualización, se debe verificar si es posible aplicarlo en "caliente," sin reiniciar el servidor. Algunos sistemas operativos tienen la posibilidad de instalar los parches y dejarlos en producción mientras el sistema continúa funcionando. Si la instalación requiere reiniciar el servidor, se debe planificar para hacerlo fuera de hora, o en su defecto poner en línea otro servidor mientras se actualiza el resto.

Disminuya al mínimo el acceso a los servidores de VoIP. Debe cerciorarse que los servidores críticos no sean vulnerables. Asegurar los servidores puede requerir la instalación de un firewall o un sistema de detección de intrusos y de este modo advertir cualquier infracción de seguridad.

5.1.2.3 Confiabilidad de los enlaces de red y proveedores de servicios de red

Como elemento fundamental al momento de analizar la contratación de un enlace de comunicaciones, se debe evaluar minuciosamente la confiabilidad de los mismos ofrecidas por el proveedor de servicios. En general los proveedores fijan un SLA (Service Level Agreement) para sus clientes, por el cual les garantizan cierto nivel de disponibilidad de los enlaces y performance de la red. En el contrato se debe incluir detalles como:

- Confiabilidad
- Tiempo de reposición de servicio
- Mecanismos para recepción de reclamos

5.1.2.4 Condiciones ambientales y suministro eléctrico

En general no se le da suficiente relevancia a las condiciones ambientales. Sin embargo, deben ser incluidas en cualquier evaluación de confiabilidad. La temperatura extrema puede generar fallas en el sistema. Se debe disponer de un sistema de aire acondicionado redundante y los servidores se deben montar sobre piso elevado.

Por otro lado, los teléfonos tradicionales toman la energía desde la misma línea telefónica, independientemente de la línea de energía instalada en el edificio. Los switch actuales tienen la posibilidad de incorporar PoE (Power over Ethernet), los que le proporcionan energía eléctrica a los teléfonos. Es por esto que se requiere disponer de UPS (redundantes) para dar continuidad al servicio eléctrico. En caso de no disponer de equipamiento con PoE es posible la instalación de patcheras que incluyan estas características. Si es este el caso, las mismas deben estar vinculadas con una UPS.

5.1.2.5 Diseño de la Red

Un buen diseño de red reduce la posibilidad de problemas que son provocados por un único punto de falla, el cual puede surgir cuando todo el tráfico debe atravesar un dispositivo (por ejemplo, una oficina tiene sólo un firewall y debe filtrar todo tráfico entrante de la red). Los puntos de falla pueden crear también cuellos de botella y afectar el desempeño si un dispositivo es sobrecargado. Se deben detectar estos puntos en la etapa de diseño de la red y procure eliminarlos. En caso de ser necesario mantener alguno, se debe prever la utilización de componentes redundantes. Se debe tener en cuenta que si uno de los dispositivos falla, el redundante debería tener la capacidad para manejar la carga completa. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un punto de falla en una red.

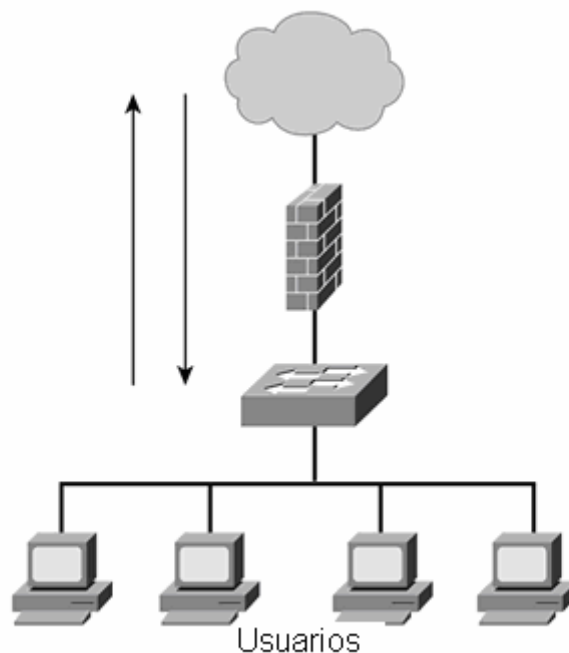


Figura 14: Todo el tráfico fluye a través de un único punto de falla [1]

Cuando ocurre una falla, no siempre es requerida la intervención de un operador. Un buen diseño de red, permite que la misma automáticamente detecte los problemas y tome las acciones requeridas. Estas acciones pueden ser que se redirija el tráfico a un enlace diferente en caso de falla del enlace

primario. La ventaja de usar routing dinámico, es que permite prescindir de un operador que tome acciones. Protocolos avanzados de ruteo, tales como HSRP (Hot Standby Router Protocol), pueden incrementar la robustez permitiendo que múltiples routers actúen como un simple default gateway. Considere el caso de un servidor que dispone de un único default gateway. Si éste falla, no puede acceder al resto de la red hasta que el este equipo sea reparado.

Es recomendable analizar los posibles escenarios en que los equipos pueden fallar, para garantizar que los restantes equipos involucrados puedan manejar la carga mientras la red está convergiendo.

En un buen diseño de red también se debe considerar la seguridad. Se deben utilizar Firewalls y sistemas de detección de intrusos para proteger la red de la organización. Por ejemplo para “ocultar” los equipos en zonas comprometidas se puede utilizar NAT (Network Address Translation). Sin embargo, se debe tener especial cuidado con la utilización de esta técnica, porque resulta difícil configurar VoIP para que trabaje adecuadamente.

Para el diseño de la red, también es crucial analizar los servicios de infraestructura como son DNS (Domain Name Service) y DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Para obtener una dirección IP con una mínima configuración, la mayoría de los teléfonos IP usan DHCP. Si el servicio DHCP no está disponible, el teléfono IP no se integrará a la red. Los servicios de DNS y DHCP se ejecutan desde servidores, por lo tanto debe preverse la implementación de servidores de contingencia.

5.1.2.6 Errores de usuarios y administración de procesos

Errores de usuarios y procesos de IT son la contribución final para la disponibilidad. Para prevenir ambas fuentes de interrupciones en la red, se requiere una buena administración de procesos de IT. Debe observar los procesos propensos a generar errores, para de esta forma reducir o evitar los errores de usuario. Aquí se describen algunas pautas para ayudar a evitar errores de usuario:

- Capacitación: Brindarle al equipo de IT el entrenamiento necesario para la implementación de VoIP.
- Interfaz de usuario intuitiva: Utilice herramientas de management y configuración que sean intuitivas y de fácil manejo.
- Rediseñe o automatice las tareas complicadas: La Automatización es una buena forma de manejar las tareas propensas a errores.

Para que una implementación de VoIP sea confiable se deben seguir los siguientes pasos:

- Prevención: Si se previenen y evitan posibles problemas, se incrementa la disponibilidad.
- Detección: Cuando la prevención falla, se debe localizar los problemas tan pronto como sea posible, para acotar el tiempo que transcurre durante el aislamiento y la reparación.
- Reacción: Cuando se encuentra un problema, se debe tener una reacción oportuna y apropiada para acortar el tiempo del aislamiento y la reparación. Habiendo reaccionado, documente lo ocurrido para prevenir y evitar los mismos problemas en el futuro.

Además es importante tener en cuenta:

- Administración y monitoreo: Una buena administración de VoIP permite asegurar la confiabilidad y la disponibilidad de los componentes. La administración es crítica, permitiendo ser proactivos en la resolución de problemas. Cuando un problema ocurre, ¿cuánto tiempo se requiere para detectarlo? Idealmente, debería enterarse del problema antes de que los usuarios perciban algún inconveniente. Los instrumentos de software de administración le permiten fijar umbrales en referencia a la confiabilidad y la calidad voz, de tal modo que una vez superado el mismo sea posible tomar las acciones que correspondan.

- El aislamiento del problema, el diagnóstico, y la velocidad de reparación, son los puntos clave para mantener una red de VoIP segura. Es necesario localizar rápidamente y con toda precisión el componente en el sistema de VoIP (servidor, el teléfono, el router, o la conexión de la red) que está causando el problema.

Una vez que se alcanza un nivel aceptable de seguridad y puede resolverse cualquier problema de disponibilidad rápidamente, entonces es tiempo de echar una mirada al rendimiento de la red y su relación con la calidad de la voz.

5.1.3 Evaluación de la disponibilidad

Una de las preguntas que intentamos responder anteriormente es: ¿En qué punto está la organización actualmente? La respuesta a este interrogante sirve para saber cuan cerca está de una implementación de VoIP. Después de analizar el uso actual de telefonía, la confiabilidad y la calidad de la voz, el punto final es la evaluación de la disponibilidad.

El objetivo de la evaluación de la disponibilidad, es determinar si la red existente está lista para la implementación de VoIP. Esto implica analizar sistemáticamente la red de datos, el monitoreo constante de los componentes claves y la evaluación de la calidad de voz. Para lograrlo se genera carga sobre la red para simular un tráfico de voz sobre IP¹⁶. Tales medidas proporcionan información que no puede ser obtenida de una implementación piloto utilizando una IP PBX y unos pocos teléfonos IP. Una evaluación la disponibilidad se diseña para:

- Evaluar la calidad de voz obtenida en varios días de prueba, simulando centenares o aún millares de llamadas sobre la red.

¹⁶ Ejemplo de software:

Vivinet Assessor, ver sitio de NetIQ Corporation: <http://www.netiq.com/products/va/>
NetAlly Lifecycle Manager, ver sitio Viola Networks: <http://www.violanetworks.com/>

- Determinar si la red de datos existente está preparada para soportar VoIP con la configuración actual.

Una evaluación de la disponibilidad de VoIP debe comprender varios enfoques, por esta razón comenzamos con la evaluación de la configuración de la red.

5.1.3.1 Evaluación de la Configuración

Cuando se evalúa la configuración, se observa el estado actual del equipamiento de red para determinar si está preparado para VoIP. Se realiza una evaluación de los elementos del equipamiento que deben ser mejorados para la implementación. Por ejemplo, la calidad del servicio (QoS) es un requisito para VoIP. ¿Soportan los switch y los routers mecanismos de QoS? Si no, ¿requieren una actualización de software o hardware? Este análisis tiende a mejorar la funcionalidad, la capacidad, la confiabilidad, y la calidad de voz.

Se debe comenzar realizando un inventario del equipamiento de red. Con herramientas de software utilizando por ejemplo el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol), es posible descubrir los dispositivos de la red. Los agentes de SNMP que corren en los dispositivos, proporcionan información de administración en formatos estandarizados llamados objetos MIB (Management Information Base). Los instrumentos de descubrimiento de la red pueden coleccionar información de configuración de routers y switches. Algunos de los instrumentos, tal como Microsoft Visio, también pueden ayudar a dibujar un esquema de la red.

Habiendo reunido la información de los dispositivos, se debe observar si la configuración actual cumple con las especificaciones recomendadas por el vendedor de VoIP. Los siguientes parámetros deben ser incluidos en una evaluación de configuración:

- Sistema Operativo: Qué versión de Sistema Operativo utilizan los routers, switches, firewalls y el resto de los dispositivos. Analizar si la versión instalada soporta VoIP o en su defecto, si el dispositivo lo soporta.

- Memoria: Determinar cuanta memoria (RAM) tienen instalada los dispositivos. Determinar si la memoria instalada puede soportar el volumen de llamadas previsto.
- QoS: La mayoría de los proveedores recomiendan algún mecanismo de QoS, por lo que es necesario determinar si los dispositivos lo soportan, si ya está configurado, y de qué manera podría priorizarse QoS.
- VLANs: Determinar si lo soportan y cuál es la configuración actual.
- Hubs: Los hubs no garantizan QoS. Cualquier dispositivo conectado a un hub, aún un teléfono IP, compite por el ancho de banda con el resto de los elementos conectados. Se debe considerar el recambio de los mismos por switches.
- Velocidad de las interfaces: Las interfaces de los routers pueden operar a varias velocidades (56 kbps, 1.544 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, o 1000 Mbps). Analizar si las velocidades actuales soportarían el tráfico esperado.
- Alimentación para el teléfono: Verificar si los switch actuales soportan PoE.

Una vez analizadas las configuraciones de los componentes claves de la red, se debe determinar cómo se están utilizando en la actualidad.

5.1.3.2 Evaluación de la Utilización

Además de la información de configuración, también se debe reunir la estadística de la utilización de los dispositivos de red y sus conexiones. Una vez que se han descubierto los dispositivos de hardware y sus conexiones, se debe monitorear la red por un determinado espacio de tiempo. Un comienzo razonable, es controlar las 24 horas del día, durante los 7 días de la semana. Reúna suficientes datos para ver si hay períodos de tiempo problemáticos (ciertos días o ciertas horas dentro de un día cuando hay una alta utilización). El objetivo es determinar si los dispositivos tienen suficiente capacidad para

soportar VoIP. Si en la actualidad se está operando cerca del 100 por ciento, no sería factible el agregando VoIP. Considere monitorear estas métricas:

- **Uso de CPU:** El uso del procesador de un dispositivo es un buen indicador de la carga de trabajo. Observe el promedio y los picos de uso de CPU. El promedio podría ser bajo, pero los picos durante las hora de mayor tráfico podrían afectar la calidad de voz con la implementación de VoIP.
- **Uso de Memoria:** Para reducir el jitter en una red, se requiere disponer de suficientes buffers. Si los buffers tienen una alta utilización, podrían generar mayores demoras y por lo tanto se podría incrementar el jitter de la red. Observe el promedio y los picos de uso de Memoria.
- **Utilización de Backplane:** Es una métrica clave de utilización de switches. Proporciona un buen indicador de cuanto tráfico pasa a través del switch.
- **Paquetes descartados:** Cuando hay congestión en la red, los paquetes son descartados. Cuando esto ocurre afectan directamente la calidad de VoIP. Por lo tanto un número elevado de paquetes descartados, es un indicio de frecuentes congestionamientos de la red.
- **Errores de Buffer:** Estos errores ocurren cuando falla el intento de acceder a la memoria del router por lo tanto los paquetes son demorados o en su defecto descartados. Esto es un indicio de que es necesario adicionar más memoria al dispositivo.
- **Errores de interfaces:** Errores tales como CRC (cyclic redundancy check), pueden indicar un problema en la interfase física, como por ejemplo un problema en el conector. Este tipo de errores podrían implicar pérdida de paquetes.
- **Utilización de Ancho de Banda:** Analizar que porcentaje de ancho de banda está siendo usado. Una manera segura de lograr una excelente calidad de voz es disponer de suficiente ancho de banda. Se debe

observar con mayor atención la utilización del ancho de banda en los enlaces WAN que transportarán el tráfico de VoIP. Estos enlaces tienen típicamente menos capacidad y generalmente son muy utilizados.

Cuando se analiza el nivel de utilización de los componentes de la red, se deben tener muy en cuenta los valores picos y los promedios. Después de coleccionar la información de configuración y utilización, se dispone de elementos valiosos sobre los puntos problemáticos y sobre las áreas que se debe evaluar correctamente para la implementación de VoIP. Posteriormente, se debe combinar estas estadísticas con las del sistema de telefonía actual, y observar los potenciales problemas que se generarían con la implementación de VoIP.

5.1.3.3 Evaluación de la calidad de voz

El objetivo de la evaluación de la calidad de voz, es determinar cuan bien se escuchará VoIP en una red realizando una simulación de tráfico VoIP. Para valorar la calidad de la voz, el tráfico práctico de VoIP es enviado a través de la red y el tráfico resultante es medido. Se obtienen las medidas de retardo, jitter, y la pérdida de paquetes son utilizados para evaluarlo con E-MODEL con el objeto de obtener un MOS.

Hay varias características de la simulación del tráfico de VoIP para considerar antes de una evaluación de la calidad de voz:

- Los codecs usados. Algoritmos de compresión, tasa de datos y tamaños de datagramas usados.
- Si está activo PLC para los codecs G.711.
- Tamaño de datagramas de voz.
- La posibilidad de usar supresores de silencio. Éstos pueden ser usados por algunos teléfonos IP para reducir el consumo de ancho de banda. Esta característica permite que si nadie está hablando, el teléfono sólo envía pequeños paquetes.
- Jitter buffers y sus tamaños.

- QoS.

Es posible utilizar parámetros de sistema preconfigurados, o variarlos con el objeto de ver como cada cambio afecta a la calidad de voz y el consumo de ancho de banda. Por ejemplo, es posible examinar los efectos de la utilización de distintos codecs utilizando varios algoritmos de compresión, o también ajustando distintos parámetros como los jitter buffers, tamaño de datagrama y supresión de silencio.

Las pruebas de calidad de voz simulan tráfico VoIP entre puntos de la red preseleccionados por un periodo de tiempo determinado.

El software utilizado mide los retardos, el jitter, y la pérdida de datos. Además genera un reporte que muestra la calidad de voz por día de la semana, la ubicación, etcétera.

Una evaluación de la calidad de voz no es una prueba estrés; debido a que se simula el tráfico en una red en producción. Se debe probar con el volumen medio aproximado de llamadas durante las horas laborales, en vez del volumen de llamadas pico.

La posibilidad de predecir la calidad de la voz antes de invertir en el equipamiento de VoIP es un paso valioso en la evaluación de VoIP. La evaluación de la calidad de voz puede ser difícil sin los instrumentos apropiados. Existe en el mercado un software específico que es utilizado para realizar estas pruebas de simulación¹⁷.

5.1.3.4 Modelando el Ancho de Banda

En la primera fase del proceso de planificación, se reunió la estadística actual del uso de telefonía e información de configuración de hardware. Ahora es tiempo de utilizar esa información para poder modelar. La meta de modelar es observar por un lado el uso de la telefonía existente y por otro la utilización actual de la red de datos para determinar si la infraestructura actual puede

¹⁷ Ejemplo de este tipo de software puede ser visto en <http://www.netiq.com/products/va/whitepapers.asp>.

soportar el tráfico de la futura implementación de VoIP. El caso más sencillo es modelar los volúmenes proyectados de llamadas, para distintos tipos de codecs, y para los distintos requerimientos de ancho de banda. Se debe calcular el ancho de banda requerido por el nuevo tráfico de VoIP y se debe observar si los requisitos adicionales de ancho de banda sobrecargan la red. Es posible volver a hacer los cálculos repetidamente, cambiando una variable diferente cada vez y observar los resultados obtenidos.

Normalmente el modelado se hace para enlaces críticos. Se deben observar los diferentes enlaces que soportarán el tráfico de VoIP y, tomar los parámetros siguientes como entrada para ese modelo de tráfico:

- Codec: ¿Qué codec es utilizado ? Como se discutió anteriormente, diferentes codecs tienen distintos requerimientos de Ancho de Banda. Se debe seleccionar uno que consuma la menor cantidad de Ancho de Banda, pero que el MOS resultante sea satisfactorio.
- Número de llamadas: ¿Qué número de llamadas simultáneas serán soportadas? Este número puede ser representado en erlangs.
- Actual utilización de Ancho de Banda: ¿Cuál es la actual utilización de ancho de banda? Normalmente se expresa como un porcentaje del ancho de banda disponible.
- Capacidad de ancho de banda: ¿Cuál es el máximo ancho de banda del enlace? Normalmente expresado en kilobits o megabits por segundo.

5.2 IMPLEMENTACIÓN DE UN PILOTO

La implementación de un piloto le permite al equipo de proyecto conseguir un primer acercamiento a los sistemas de VoIP y su comportamiento. Además durante la implementación del piloto, es posible evaluar los equipos para una compra posterior.

5.2.1 Aprender nuevas lecciones

La razón para realizar un piloto es la de aprender. La prueba de laboratorio es el lugar para que el equipo analice los detalles de configuración de VoIP. Conecte el equipo en muchas combinaciones diferentes. Realice todo tipo de pruebas, y dedique todo el tiempo necesario para analizar cada una de las pruebas.

En el laboratorio de pruebas el equipo entero necesita sentirse cómodo con el comportamiento de VoIP, inclusive cómo se mezcla con otro tráfico y cómo se comporta cuando algo anda mal, cómo depurar un programa VoIP, y además cómo aislar y corregir un problema.

Se debe asegurar la inclusión de cada uno de los roles importantes de la red como firewalls, Servidores de DNS y DHCP, servidores de VPN, etc. Se deben configurar los firewalls para imitar los escenarios de producción, con el objeto de verificar todos los futuros problemas en la implementación real.

Es importante analizar la interoperabilidad de todo el equipamiento durante un piloto. Si se utiliza equipamiento de múltiples proveedores, se debe analizar si trabajan adecuadamente todos los componentes.

La prueba piloto también es el momento para analizar más detalladamente una gama de opciones específicas. Por ejemplo, algunas técnicas de QoS requieren que los dispositivos en cada uno de los saltos por la red de IP sean reconfigurados. Hacer estos cambios puede ser tedioso cuando se realizan a mano, pero esta forma de implementarlos, resulta beneficiosa porque los miembros del equipo aprenden a realizar los ajustes necesarios para el correcto funcionamiento de VoIP. Tarea que debe realizarse no sólo durante la implementación, sino cada vez que se introduzcan cambios en la topología de la red.

Por otro lado durante la prueba piloto se debe brindar toda la capacitación necesaria al equipo de apoyo para la implementación. A muchas personas experimentadas en la comunidad de las redes de datos, los conceptos de VoIP

pueden resultarles nuevos, generándoles confusiones conceptuales. Para esto es fundamental la capacitación, fomentar la lectura de artículos detallados en la web, brindarle documentación de los distintos proveedores, etc.

5.2.2 Comienzo del Piloto

Es fundamental la correcta elección del lugar para la implementación de un programa piloto de VoIP. Principalmente los sitios seleccionados, deben generar un ROI alto, el impacto de las interrupciones debe ser bajo, y analizar sectores donde exista una verdadera cooperación de los usuarios.

Existe la posibilidad de escoger para la implementación entre un par de ubicaciones o dentro de una sola ubicación. Sin embargo, uno de los mejores lugares para comenzar la implementación de un piloto de VoIP es entre un par de pequeñas sucursales. Básicamente las razones son:

- Desde una perspectiva del costo, es generalmente prohibitivo poner el equipamiento con todas las opciones en pequeñas sucursales, a pesar que los usuarios en estas oficinas puedan necesitar las mismas características como lo requiere la oficina central.
- Desde el punto de vista de la administración del proyecto, es mucho más sencillo de coordinar la implementación de pequeños grupos.
- Empezar con pequeños grupos de usuarios arriesga menos. Aunque los productos de telefonía de IP maduren rápidamente, pocas organizaciones tienen la suficiente confianza para reemplazar equipamiento que han estado utilizando en los pasados 20 años por equipamiento "convergente".
- Los proveedores en muchos casos ofrecen equipamiento para implementaciones en lugares pequeños que requieren equipos de menor escala.

5.2.3 Evaluación del Equipamiento y los Sistemas

El laboratorio de pruebas y la implementación del piloto permiten evaluar el nuevo equipo de hardware y software de VoIP que se planea adquirir. La pregunta a contestar, es si los componentes y sus vendedores cubren sus expectativas. Evalúe distintas opciones de implementación, inclusive la posibilidad de hacer implementaciones de bajo costo con la utilización de software libre.

5.2.4 Linux como una PBX [7]

Si fuera aprendiz de mecánica del automotor, probablemente no utilizaría un Ferrari para sus experimentos. Seguramente estaría más cómodo y resultaría más práctico comenzar con un auto de mecánica sencilla. Afortunadamente, existe software tal como Asterisk que ofrece la mayoría de las funcionalidades como servidor de VoIP. Asterisk es de fácil manejo, existe un buen conocimiento en el mercado y por otro lado resulta muy económico realizar pruebas y experimentar la tecnología, de hecho Asterisk es software de distribución libre¹⁸.

Pero como tal como una Ferrari, Asterisk es muy potente. Soporta varios protocolos como: H. 323, SIP, IAX, y los otros. Al utilizar estos protocolos, pueden soportar casi cualquier teléfono IP, así como teléfonos tradicionales, analógicos y digitales. Asterisk admite algunas características muy potentes como llamada en espera, conferencias, buzón de voz e identificación de llamadas.

Utilizando Asterisk, se puede implementar algo tan sencillo como un contestador que envía sus mensajes grabados a su dirección correo electrónico o algo tan sofisticado como el sistema corporativo de comunicaciones con el menor costo de ruteo de llamadas y registro y facturación de llamadas. No todas soluciones de PBX soportan tales características. En la telefonía tradicional, las características avanzadas como buzón de voz y preatendedor a

¹⁸ Aunque el desarrollo y el soporte lo realice Digium, Inc. <http://www.digium.com>.

menudo son proporcionados por dispositivos separados. La siguiente figura muestra un resumen de funciones de Asterisk.

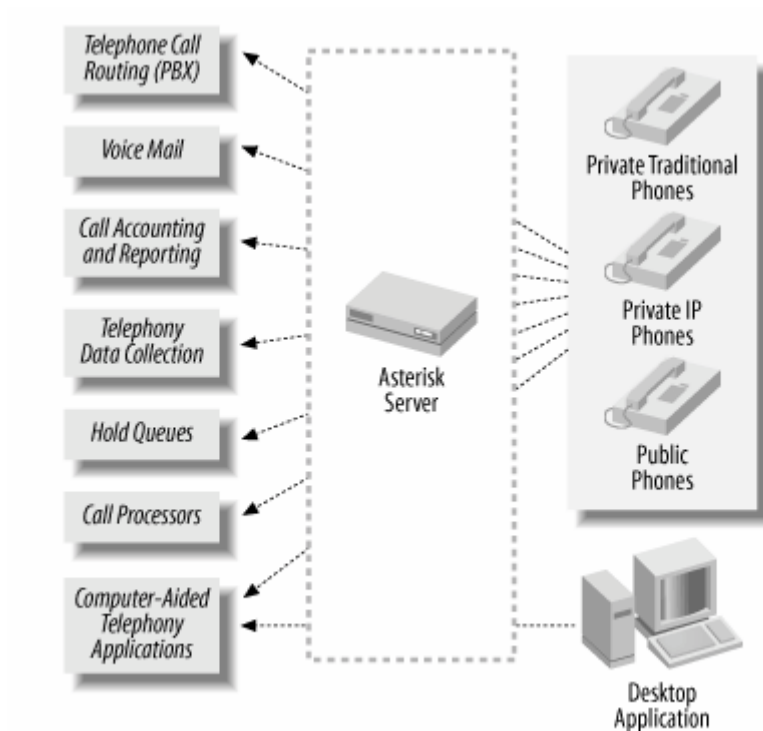


Figura 15: Funciones de Asterisk [7]

Con Asterisk y herramientas fáciles de conseguir, es posible construir todas clases de aplicaciones de telefonía. La interfase de Gateway incluida en Asterisk y la API de Administración de Asterisk permiten desarrollar aplicaciones de telefonía utilizando PHP, Perl, Java, o C y todo tipo de automatización para su PBX. Para vincular las aplicaciones de telefonía a los datos, Asterisk incorpora una base de datos que es semejante al registro de Windows.

Por la diversidad de servicios que se pueden obtener, por la facilidad de uso y los costos sumamente accesibles, merece la pena la utilización al menos en la etapa de realización del piloto una solución de Asterisk. Inclusive le permite al usuario realizar pruebas de carga que se asemejen mucho a la realidad y determinar el futuro comportamiento de la red para una implementación completa.

5.3 CALIDAD DE SERVICIO [6]

En la telefonía tradicional, la calidad del servicio de cada una de las llamadas telefónicas, es garantizada por la disponibilidad constante de ancho de banda dedicado. Siempre que un canal o el "circuito" se establece a través de la red, el ancho de banda asignado a ese canal es fijo e inmutable. La mayoría de los recorridos de las llamadas digitalmente codificados en la PSTN utilizan el mismo codec, G. 711, así que no es necesario el transcoding¹⁹. Casi ningún procesamiento de congestión existe en la PSTN, y debido a que el sistema no está basado en paquetes, casi nunca se percibe la degradación en la calidad de la llamada a consecuencia de la congestión.

Si el PSTN y SS7 no pueden establecer un circuito con el ancho de banda completo en la red, simplemente no se concreta la llamada generando un tono de ocupado para la persona que llama. Los diseñadores del PSTN pensaron que una limitación de conectividad sería preferible a un detrimento de la calidad.

Por supuesto, las redes de paquete trabajan de otra manera. Cuando disminuye la disponibilidad de ancho de banda, cuanto más paquetes son enviados a la red, el rendimiento cae abruptamente. Hasta un cierto punto de ruptura, la disponibilidad del ancho de banda puede estar comprometido pero aún permitir el tráfico de datos. Algunas aplicaciones toleran la congestión y el bajo rendimiento mejor que otras.

La lentitud provocada por la latencia en la transmisión es el enemigo de la Voz sobre IP, y uno de los contribuyentes claves al fracaso de la tecnología. Además de un cuidadoso diseño de la red y previsión de suficiente ancho de banda (que son factores fundamentales en cualquier red de IP) hay una solución elegante al problema de la latencia. Por un lado, uno que permite

¹⁹ Es el proceso de conversión de un tipo de codec a otro

garantizar localmente y de punta a punta el ancho de banda y por el otro la priorización del tráfico de tiempo real sobre el tráfico menos sensible.

5.3.1 Clases de Servicios (CoS) y Calidad de Servicios (QoS)

Se requieren este tipo de técnicas para aliviar las consecuencias sobre aplicaciones específicas cuando una red está muy sobrecargada. En estas situaciones es posible asignarle un mejor tratamiento o al menos un tratamiento especial a VoIP.

En las Clases del Servicio, los sistemas trabajan para priorizar el tráfico en un solo medio de transmisión de datos. Mientras QoS se refiere a nivel de la red, CoS se refiere sólo un medio de transmisión de datos. Así, un switch Ethernet quizás proporcione priorización de paquetes CoS a un solo host, un grupo de routers quizás forme parte en una solución más elaborada y de punta a punta de QoS. La diferencia clave es esto: mientras que CoS es un enfoque sobre un simple enlace, QoS tiene una visión de punta a punta.

Para lograr este objetivo de CoS y QoS se utilizan técnicas y protocolos específicos tales como DiffServ, RSVP, y MPLS. En el anexo II se incluye un detalle de los distintos conceptos y estándares.

5.4 EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE INTEGRACIÓN [8]

En el ejemplo que se propone a continuación, se evalúan y analizan los principales elementos que se deben tener en cuenta en la etapa de Planificación, Análisis y Evaluación de una implementación de VoIP. Allí se

plantea una situación típica en una organización que mantiene dos infraestructuras separadas; una para el tráfico de voz y otra para datos.

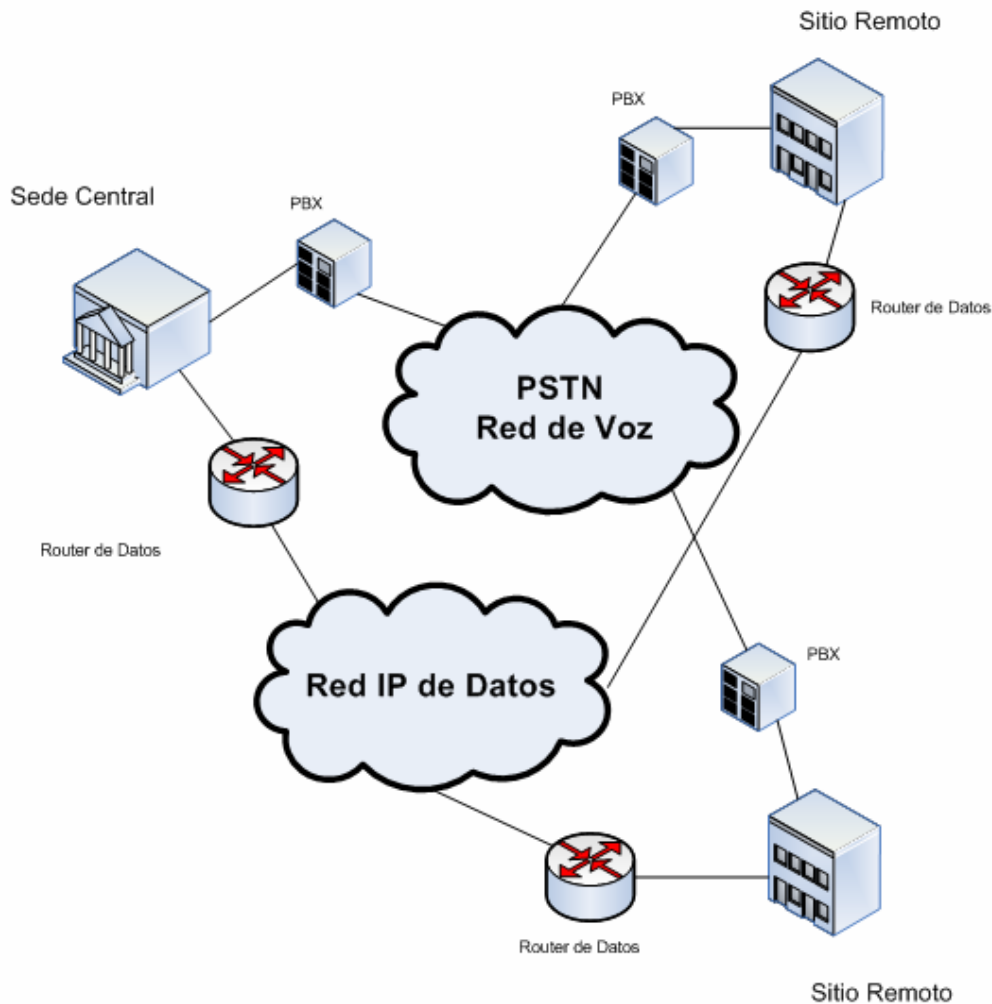


Figura 16: Organización con dos infraestructuras para comunicaciones

Con la implementación de VoIP, la infraestructura de comunicaciones se integraría para lograr la unificación de servicios tal como se muestra en la siguiente figura.

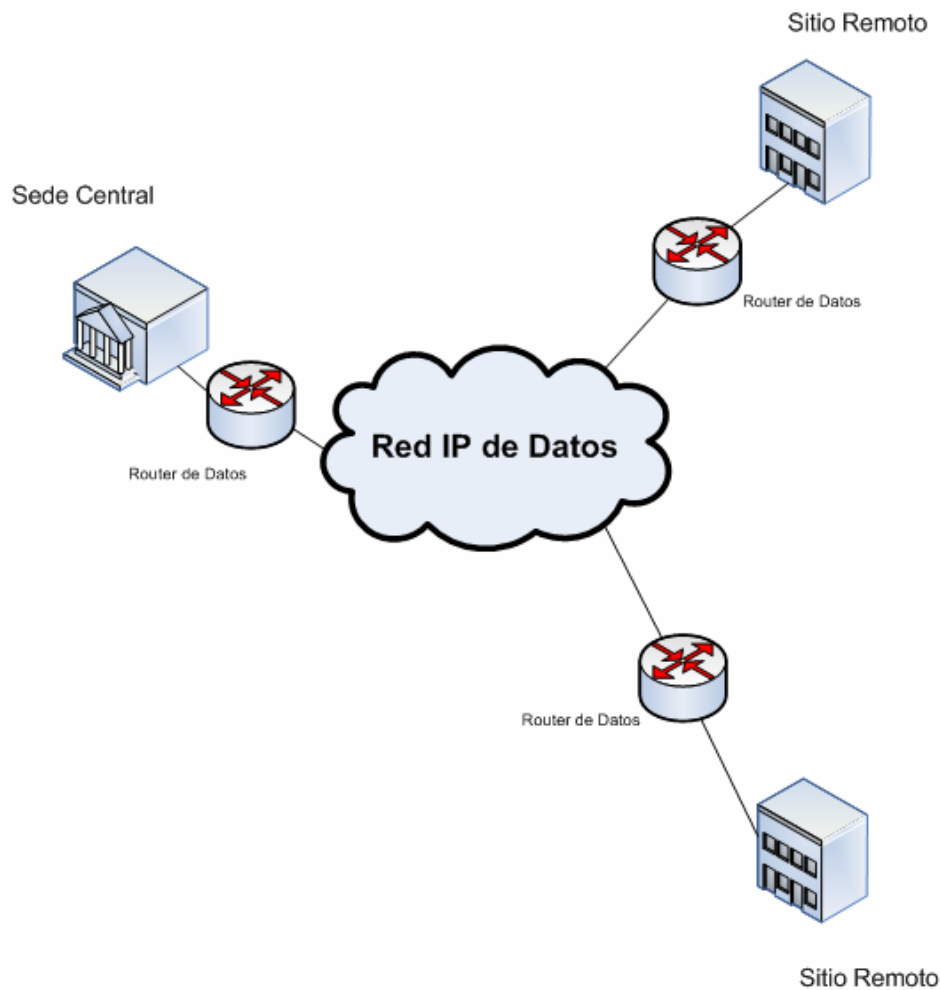


Figura 17: Organización con redes unificadas

El presente ejemplo supone una organización que dispone de una Sede Central vinculada a dos sucursales. Para cada una de las sucursales se han previsto enlaces frame relay de 256 Kbps con un CIR del 100%. Según la información obtenida del análisis de las comunicaciones de voz y datos actuales, el promedio de datos transmitidos en Sede Central es 150Kbps con un pico de 300Kbps durante la hora de mayor ocupación. La Organización querría trasportar el tráfico de la voz sobre la red existente Frame Relay si es posible sin ampliar el ancho de banda, pero eventualmente se evaluaría una mejora si los costos lo justificaran. Para los sitios remotos, la transmisión promedio de datos son 75Kbps con un pico de 150Kbps. La organización también dispone de una PBX tanto en Sede Central como en las sucursales. En sede central dispone de 14 líneas hacia la PSTN para tráfico de voz entre la

Central y la compañía telefónica local. Se paga mensualmente en concepto de abono por cada una de estas líneas aproximadamente \$32.

El volumen de llamadas desde y hacia los sitios remotos en Sede Central es 600 llamadas por día con un tiempo medio de la llamada de tres minutos. El grado del servicio o factor de bloqueo es el porcentaje de las llamadas que dan ocupadas durante la hora de mayor utilización en la organización. La organización considera aceptable un 5% de grado de ocupación del servicio. La hora de mayor ocupación del día maneja el 20% del tráfico. Ninguna otra hora maneja más de 12% del tráfico de voz. Cada sitio remoto tiene aproximadamente el mismo número de llamadas que la Sede Central. Por lo tanto, el volumen de llamadas desde y hacia la sede central es de 300 llamadas por día con un tiempo medio de llamadas de tres minutos. En los sitios resulta también aceptable un 5% de grado ocupado del servicio y la hora más ocupada del día maneja 20% del tráfico. Los dos sitios remotos tienen 10 líneas troncales para el tráfico de la voz. Además en este ejemplo, se asume la peor de las condiciones: que la hora pico de ocupación del tráfico de la voz es la misma que para los datos.

Por lo tanto se realiza el siguiente análisis:

Sede Central tiene 600 llamadas a los dos sitios remotos con llamadas que promedian los tres minutos. Por lo tanto, la suma es 1.800 minutos de llamada o 30 horas de volumen de llamada por día.

$$\frac{600 \text{ llamadas} * 3 \text{ min. por llamada}}{60 \text{ min. por hora}} = 30 \text{ Horas de tráfico} = 30 \text{ Erlangs}$$

Un Erlang es una unidad que representa una hora del volumen de llamadas, de modo que la Sede Central tiene 30 horas de volumen de llamadas a las sucursales cada día. Al diseñar las redes, especialmente para el transporte de voz, es mejor construir la infraestructura teniendo en cuenta la hora de mayor ocupación del día. Por lo tanto, no se asume que el 30 Erlangs un valor uniforme durante todo el día. Debido a que el 20% del tráfico es manejado en la hora de mayor ocupación, esta red será diseñada para manejar seis Erlangs del tráfico en una hora.

$$\frac{(20\%) * 600 \text{ llamadas} * 3 \text{ min. por llam.} = (20\%) * 30 \text{ Horas de tráfico} = 6 \text{ Erlangs}}{60 \text{ min. por hora}}$$

De igual modo, los sitios remotos tienen 15 Erlangs de tráfico y tres Erlangs durante la 20% de hora más ocupada.

$$\frac{(20\%) * 300 \text{ llamadas} * 3 \text{ min. por llam.} = (20\%) * 15 \text{ Horas de tráfico} = 3 \text{ Erlangs}}{60 \text{ min. por hora}}$$

5.4.1 Determinar cuantas líneas PSTN pueden ser eliminadas por el uso de la red de datos.

Ningún sistema telefónico es 100% eficiente debido a que una llamada puede ingresar en un momento en que no exista una línea disponible. Por otro lado, aún en la hora de mayor ocupación habrá minutos en que no todas las líneas son utilizadas. Por lo tanto, una forma de garantizar la disponibilidad de líneas, se podría pensar en que ocho líneas de teléfono proporcionan ocho horas del volumen de la llamada en una hora, esto es un caso ideal pero no resulta óptimo. Por lo tanto como se dijo anteriormente²⁰ para calcular las estadísticas del Volumen de Llamadas se requieren 3 parámetros:

4. Cantidad de tráfico en horas pico - Busy hour traffic (BHT).
5. Número de llamadas bloqueadas por saturación de servicio.
6. Número total de líneas del sistema.

Por ejemplo, con un grado de servicio de 0.05, ocho líneas proveen 4.5 horas de volumen de llamadas o 4.5 Erlangs. Para lo cual debe ser aceptable que un 5% de llamadas den tono de ocupado. Para el caso propuesto, si es necesario transportar seis Erlangs de volumen llamadas en Sede Central, el cálculo de Erlang dice que se requiere de 10 líneas de PSTN. Para transportar tres Erlangs del volumen de la llamada en las sucursales, entonces el cálculo Erlang sugiere la utilización de siete líneas de PSTN.²¹

²⁰ Ver punto 7.1.1.2

²¹ Los valores del cálculo se pueden obtener accediendo a <http://www.erlang.com/calculator/erlb/>

5.4.2 Determinar los ahorros a causa de la reducción de líneas y uso de llamadas de larga distancia

El número de líneas en Sede Central actualmente es de 14. Se puede reducir a 4 debido a que el equivalente aproximado de 10 líneas, ahora utilizarán la red Frame Relay para el tráfico de voz.

Esto implica un ahorro de costo de \$320 mensuales en Sede Central. Si se realizan los mismos para los sitios remotos, se utilizan aproximadamente 6 líneas menos en cada sucursal por lo que el ahorro que produce es de \$192 por mes por sitio. Los ahorros totales de todas las líneas son \$704 por mes. Si consideramos un costo por llamada de \$0,04 por minuto para 1.800 minutos totales, proporcionan \$72 de ahorros de la Sede Central por día. Asumiendo 21 días laborables por mes y los ahorros mensuales de Sede Central son \$1.512. Por lo tanto, los ahorros del costo total para esta red unificada es de: \$2.216 por mes.

5.4.3 Determinar el tipo de Codec a usar para digitalizar la voz y decidir si se usará compresión de RTP (Real Time Protocol)

En general los dispositivos de comunicaciones utilizan dos tipos chips en el Codec que son Procesadores Digitales de Señal (DSPs): G. 711 y G. 729. Para el caso de G. 711 digitalizan la señal de la voz en 64 Kbps sin compresión y crean una carga útil de 160 byte para el paquete de VoIP. En G. 729 utiliza compresión y digitaliza la señal de la voz en 8 Kbps y crea una carga útil de 20 bytes para el paquete de VoIP. Los encabezados IP, UDP, y de RTP son 40 bytes sin compresión, pero utilizando RTP comprimido (cRTP), los encabezamientos se pueden reducir a dos bytes.

Los Procesadores Digitales Señal (DSPs) del Codec G. 711 digitalizan la voz en 50 paquetes por segundo o 33 paquetes por segundo. Se asume que se utilizarán 50 pps. Por lo tanto, el cálculo sobre 64 Kbps sería:

$$\underline{160 \text{ bytes} * 8 \text{ bits} * 50 \text{ paquetes} = 64.000 \text{ bits por segundos}}$$

Paquetes byte segundos

Sin embargo, debido a que la capa 2 del encabezamiento Frame Relay es de cuatro byte y las capas 3, 4, y 5 son de 40 byte como se describió anteriormente, entonces la cantidad de ancho de banda requerida para G. 711 son mayores cuando se incluyen los encabezados.

$$\underline{204 \text{ bytes (Encabezamiento + Carga útil)} * 64.000 \text{ bps} = 81.600 \text{ bps}}$$

160 bytes sólo carga útil

Por lo tanto, una llamada de voz requiere 81,6 Kbps de ancho de banda cuando se transporta sobre un paquete de VoIP para utilizar la red unificada. Cuando se utiliza G. 711 con cRTP, los cálculos cambian. El encabezamiento de capa 2 se mantiene igual, pero las capas 3, 4, y 5 son 2 byte en vez de 40. Por lo que una llamada de voz utiliza 66,4 kbps con cRTP como se muestra a continuación.

$$\underline{166 \text{ bytes (Encabezamiento + Carga útil)} * 64.000 \text{ bps} = 66.400 \text{ bps}}$$

160 bytes sólo carga útil

Los Procesadores Digitales Señal (DSPs) del Codec G. 729 digitalizan también la voz en 50 o 33 paquetes por segundo. Si nuevamente asumimos que se utilizarán 50 pps, el cálculo de ancho de banda con G.729 con 20 bytes de carga útil se obtiene según el siguiente cálculo:

$$\underline{20 \text{ bytes} * 8 \text{ bits} * 50 \text{ paquetes} = 8.000 \text{ bits por segundo}}$$

Paquetes byte segundo

Debido a que el encabezamiento de capa 2 de Frame Relay es de 4 bytes y las capas 3, 4, y 5 son 40 bytes como se dijo anteriormente, entonces la cantidad de ancho de banda requerido para G. 729 es mayor cuando se incluyen los encabezamientos.

$$\underline{64 \text{ bytes (encabezamientos + Carga útil)} * 8.000 \text{ bps} = 25.600 \text{ bps}}$$

20 bytes sólo carga útil

Por lo tanto, con G. 729, una llamada de voz requiere 25,6 kbps de ancho de banda cuando se transporta en un paquete de VoIP para utilizar una red

unificada. Cuando G. 729 utiliza cRTP, los cálculos cambian una vez más. El encabezamiento de capa 2 es igual, pero las capas 3, 4, y 5 son de 2 bytes en vez de 40. Una llamada de la voz convierte a 10,4 kbps con cRTP como se muestra a continuación.

26 bytes (encabezamientos + carga útil) * 8.000 bps = 10.400 bps

20 bytes solo carga útil

5.4.4 Calcular el impacto sobre la capacidad de la WAN

El ancho de banda en Sede Central tiene un CIR de 384K con pico de tráfico de 300K. Los sitios remotos disponen de un CIR de 256K con pico de tráfico de 150K. Por lo que el ancho de banda disponible para la voz es 84K en Sede Central y 106K en cada sitio remoto sin superar el CIR actual. Para un cálculo más conservador, se asume nuevamente que la hora de mayor ocupación para la voz es la misma que la de mayor ocupación para los datos.

Si se escoge G. 729 con RTP comprimido con un encabezamiento de capa 2 Frame Relay, se requieren 10,4 Kbps para cada llamada o línea como se mostró anteriormente. Por lo tanto, 10 líneas requieren 104 Kbps de ancho de banda extra en la hora de mayor ocupación en Sede Central y seis líneas en cada sitio remoto requieren 62,4 Kbps de ancho de banda extra.

Si se escoge G. 729 sin RTP comprimido con un encabezamiento de capa 2 Frame Relay, se requieren 25,6 Kbps para cada llamada o líneas como se mostró anteriormente. Por lo tanto, 10 líneas requieren 256 Kbps ancho de banda extra en la hora de mayor ocupación en Sede Central y seis líneas en cada sitio remoto requieren 153,6 Kbps ancho de banda extra. Si se escoge G. 711 con RTP comprimido con un encabezamiento de capa 2 Frame Relay, se requieren 66,4 Kbps para cada llamada o líneas como ya se dijo. Por lo tanto, 10 líneas requieren 664 Kbps ancho de banda extra en la hora de mayor ocupación y seis líneas en cada sitio remoto requieren 398,4 Kbps ancho de banda extra.

Si se escoge G. 711 sin RTP comprimido con un encabezamiento de capa 2 Frame Relay, se requieren 81,6 Kbps para cada llamada o línea. Por lo tanto,

10 líneas requieren 816 Kbps de ancho de banda extra en la hora mayor ocupación en Sede Central y seis líneas en cada sitio remoto requieren 489,6 Kbps de ancho de banda extra.

5.4.5 Elegir el mejor codec en base a la calidad versus el impacto sobre la capacidad de la WAN

Como se mencionó en el capítulo VII, existen varios métodos para medir la calidad de voz. Uno de los métodos más utilizados es el Mean Opinion Score (MOS).

Como puede verse, en Tabla 2, el puntaje de G. 729 es bastante cercano a G. 711, lo que significa que sólo se producirá una pequeña pérdida de la calidad. RTP comprimido (cRTP) causará una leve pérdida de calidad adicional que el usuario tendrá que juzgar. Otra opción para reducir el ancho de banda es utilizar el Detección de la Activación de la Voz (VAD). VAD eliminará el silencio en las conversaciones de voz en el transmisor antes de enviarlo a través de la WAN. El silencio se puede agregar en el lado receptor. Con la utilización de VAD es más eficiente el consumo de ancho de banda de la WAN, pero bajará aún más el MOS. VAD y cRTP no pueden proporcionar alta calidad en todas redes. Generalmente VAD es incluido en ciertos modelos de codecs G. 729.

Como ya se calculó, si se escoge G. 729 con RTP comprimido, se requieren 10,4 Kbps para cada llamada o línea telefónica. Por lo tanto, 10 líneas requieren 104 Kbps de ancho de banda extra en la hora de mayor ocupación en Sede Central y seis líneas en cada sitio remoto requiere 62,4 Kbps de ancho de banda extra. El ancho de banda en Sede Central y los sitios remotos resulta suficiente y no es requerido ningún aumento. Todo el ahorro de \$2.216 podría ser utilizado para adquirir equipamiento requerido para la implementación.

Si se utiliza G. 729 sin compresión de RTP con un encabezamiento de capa 2 Frame Relay, se requieren 25,6 Kbps para cada llamada o línea de voz. Por lo tanto, 10 líneas requieren 256 Kbps de ancho de banda extra en la hora de mayor ocupación en Sede Central y seis líneas en cada sitio remoto requiere 153,6 Kbps de ancho de banda extra. Esto requeriría aumentar los dos CIRs en

Sede Central a 384K lo que también requeriría elevar el ancho de banda de cada sitio remoto a un CIR 384K. El costo adicional para disponer de un CIRs más alto será \$100 a \$400 por mes, el cual podría ser cubierto fácilmente por los ahorros de \$2.216.

6 CONCLUSIONES

En el presente trabajo de tesis se ha elaborado una guía de pasos que permite a quienes toman decisiones en proyectos de comunicaciones, una forma de abordar la complejidad que estos implican.

Se analizaron casos concretos a partir de los cuales se desprende por ejemplo, en el aspecto referido a la utilización de los vínculos de datos, que cuando existe un bajo volumen de llamadas y se aplican los costos del contexto local, la integración de ambas redes no resulta económicamente factible.

Por otro lado, se evaluaron los costos comparativos para una implementación completa (es decir sin una instalación preexistente) de una solución con telefonía tradicional y telefonía IP. De acuerdo a estas premisas queda claro que para este caso la unificación como mínimo, aporta beneficios económicos.

Debido a la diversidad de condiciones que deben meritarse de la realidad de cada organización (tecnológica, organizativa, económica, etc.) y los beneficios esperados de la unificación (económicos, integración de sistemas, unificación de mensajería, etc.) es que cobra importancia contar con una guía genérica que muestre los principales aspectos a tener en cuenta, una secuencia de pasos concretos y sugerencias de buenas prácticas para analizarlas, adelantarse a su impacto y decidir con mayores certezas.

ANEXOS

7 ANEXO I – GUÍA DE PASOS

Análisis del Consumo

Objetivos

La finalidad de esta etapa es conocer cuál es la situación actual de la organización. Una vez concluida, se obtendrá información del actual volumen de llamadas, el perfil de esas llamadas incluyendo frecuencias típicas, duración, destinos y flujo de llamadas.

Requerimientos

Disponer de los registros del actual sistema: Los registros de la central telefónica actual son una muy buena fuente de datos del probable volumen de llamadas que tendrá que manejar una futura red VoIP. Estos son el insumo principal para obtener valores estadísticos, realizar análisis de flujo y entre otras cosas permiten estimar la futura implementación.

Procedimiento

- 1.1. Registro del detalle de las llamadas
 - 1.1.1. Número de llamadas
 - 1.1.2. Número de Usuarios (cantidad de números distintos)
 - 1.1.3. Duración de las llamadas
 - 1.1.4. Perfil de consumo—Estadísticas de uso, picos y promedios
 - 1.1.5. Cuándo ocurren las llamadas
 - 1.1.6. Ubicación y flujo de llamadas:
 - Porcentaje de llamadas que se generan en cada sitio
 - Porcentaje que ocurre dentro de la organización, desde qué sitio a qué sitio
 - Cantidad de llamadas salientes que se generan
- 1.2. Estadísticas del volumen de llamadas
 - 1.2.1. Para cada sitio Determinar
 - 1.2.1.1. La hora de mayor ocupación
 - 1.2.1.2. Qué porcentaje del tráfico total sucede durante la hora de mayor ocupación
 - 1.2.1.3. Qué porcentaje promedio se maneja en el resto de las horas
 - 1.2.2. Obtener
 - 1.2.2.1. BHT
 - 1.2.2.2. Número de llamadas bloqueadas por saturación del servicio
 - 1.2.2.3. Número total de líneas del sistema
 - 1.2.3. Análisis del flujo de llamadas

- 1.2.3.1. Determinar el tráfico Intrasite
- 1.2.3.2. Determinar el tráfico Intersite

Buenas Prácticas

- Realice un análisis del actual requerimiento de tráfico para facilitar la migración de DID/DOD (Direct Inward Dialing/Direct Outward Dialing) y el correo de voz
- Estudie el actual correo de voz para determinar sus requerimientos (cuales opciones se utilizan, cuáles son obsoletas, etc)
- Estudie el plan de numeración vigente para entender los requerimientos actuales e identifique que requerimientos futuros se tendrán (no queda incompleta esta oración?)
- Identifique y entienda la política del plan de numeración, el cual es esencial para desarrollar el “plan maestro” del plan de numeración y la administración de números
- Grafique y analice la distribución de la actual red de voz

Costos Asociados

Es dependiente de la envergadura de la empresa, pero un valor de referencia aproximado es de u\$s 24.000. Por otro lado, el tiempo requerido para este análisis es de aproximadamente 450 horas hombre.

Evaluación de la utilización de los enlaces Existentes

Objetivos

Para organizaciones que disponen de enlaces de datos entre sus dependencias, es importante evaluar la posibilidad (si el tráfico de voz entre ambos lo justifica) de utilización de estos vínculos para ambos servicios. El análisis de esta etapa propone por un lado, verificar los costos que podrían ahorrar con la unificación y por otro, el impacto que generaría la transmisión de voz sobre los vínculos existentes.

Requerimientos

Flujo de llamadas: Para que se justifique, debe existir un importante flujo de llamadas entre los sitios de la organización.

Obtener valores estadísticos: Tanto de las comunicaciones de voz como el tráfico de datos actual.

Procedimiento

2. Evaluación de los vínculos de datos
 - 2.1. Determinar el volumen de llamadas en erlangs por día
 - 2.2. Determinar el volumen de tráfico en la hora de mayor ocupación
 - 2.3. Determinar cuantas líneas PSTN pueden ser eliminadas por el uso de la red de datos
 - 2.3.1. En función a los valores obtenidos en 1.2.2, obtener la cantidad de líneas que se requieren (ver punto 7.1.1.2)
 - 2.4. Determinar los ahorros en función a la reducción de líneas y el uso de la red para las llamadas telefónicas
 - 2.4.1. Como resultado del punto anterior, podemos obtener la cantidad de líneas PSTN que no serían necesarias seguir contratando por lo que se puede cuantificar claramente el costo que esto implica.
 - 2.5. Determinar el tipo de codec a utilizar y decidir si se utilizará compresión de RTP: Los dos tipos de chips más utilizados son el G.711 y G.729
 - 2.5.1. Para el caso de G.711 el ancho de banda requerido (se toma como ejemplo un encabezamiento Frame Relay de 4 bytes) es de 81,6 kbps
 - 2.6. Calcular el impacto sobre la capacidad de la WAN
 - 2.6.1. Determinar el ancho de banda que actualmente se requiere para la transmisión de datos para determinar que ancho de banda estaría disponible para las llamadas telefónicas.
 - 2.6.2. Según la cantidad de líneas obtenidas en el cálculo del punto 6.1 y en función de los datos obtenidos en el punto 7, determinar el ancho de banda extra requerido. Esto se logra multiplicando ambos valores.
 - 2.7. En caso de que los ahorros generados según el valor obtenido en el punto 6 y si es suficiente el ancho de banda extra que surge del cálculo del punto 8, o en su defecto, el costo de la ampliación del ancho de banda el menor que el obtenido en el punto 6, proseguir con el siguiente paso.

Evaluación de la Disponibilidad

Requerimientos

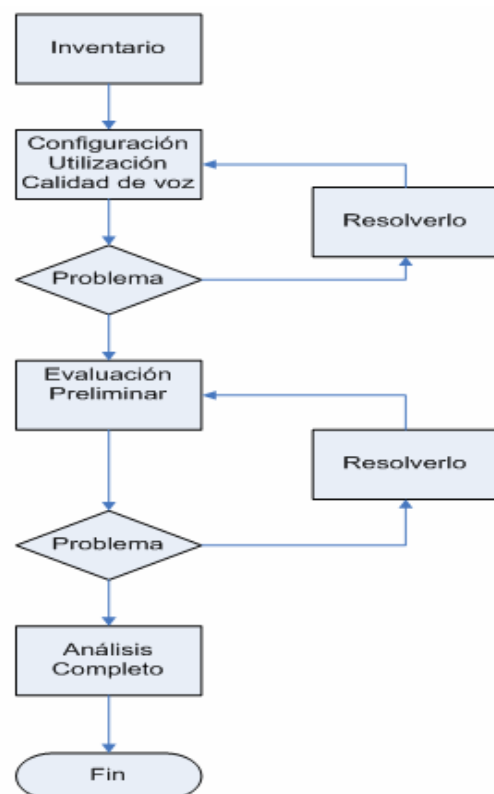
Vista previa de los servicios de VoIP: Se deben utilizar herramientas de evaluación para replicar el comportamiento real del tráfico de VoIP sobre la infraestructura de red existente. Esto requiere un alto volumen simulado de streamins RTP, así como una generación de paquetes que reproducen todos los algoritmos de compresión y las señalizaciones estándares de los CODECs más utilizados.

Preparación de la Infraestructura de red: En general el software de evaluación incorpora herramientas de diagnóstico de problemas (problemas de configuración de QoS, cuellos de botella, problemas de ancho de banda, etc).

Establecer los valores de referencia: Esta etapa deben establecerse tanto los valores de referencia como los umbrales (tales como el valor del MOS, máximo delay, pérdida de paquetes, jitter, etc.) para ser utilizados una vez implementada la solución

Procedimiento

Los pasos de esta etapa están representados en el diagrama de flujo. La evaluación de la disponibilidad comienza con el descubrimiento del inventario de la red a evaluar. Después se realiza una prueba para validar configuraciones críticas tales como operación en full-duplex, comportamiento de QoS, etc. La comprensión y resolución de los problemas deben completarse antes de continuar con el siguiente paso.



La evaluación preliminar es una prueba para incrementar metódicamente la carga de tráfico de VoIP sobre la red, simulando llamadas concurrentes a un máximo determinado. El sistema de evaluación debería incorporar herramientas de detección y corrección de problemas como delay, pérdida de paquetes o jitter. Una vez que se establece el máximo volumen de llamadas, se deben generar continuas pruebas durante un ciclo completo de trabajo de la organización (un día de trabajo, múltiples días o una semana completa). Durante las horas de mayor ocupación, el tráfico alcanza el máximo valor posible, el cual afecta la capacidad disponible de la red actual. El administrador de la red, deberá realizar los cambios que sean necesarios para evitar el congestionamiento de la red (en caso de que el equipamiento lo permita). A continuación se describe el detalle de los pasos a seguir:

3. Evaluación de la configuración

3.1. Como primer paso se debe realizar un inventario de todo el equipamiento de red y por cada componente analizar:

3.1.1. Sistema Operativo

3.1.1.1. ¿La versión: soporta VoIP?

3.1.1.2. ¿es la última versión?

3.1.1.3. ¿El dispositivo soporta la actualización?

3.1.2. Memoria

3.1.2.1. Determinar la memoria instalada

3.1.2.2. Determinar si la memoria instalada soportará el volumen de llamadas previsto

3.1.3. QoS

3.1.3.1. Determinar si los dispositivos lo soportan

3.1.3.2. ¿Están configurados?

3.1.3.3. Determinar de qué manera podría priorizarse

3.1.4. VLANs:

3.1.4.1. Determinar si lo soportan y cuál es la configuración actual

3.1.5. Hubs: Si se utiliza este tipo de equipamiento, debe considerarse el reemplazo de los mismos.

3.1.6. Velocidad de las Interfaces: Analizar si las velocidades actuales soportarán el tráfico esperado.

3.1.7. Alimentación para teléfonos

3.1.7.1. Verificar si los switches actuales soporta PoE.

3.1.7.2. En caso de que no dispongan esta posibilidad analizar el uso de patcheras que entreguen energía a los teléfonos IP (deberían disponer de UPS)

4. Evaluación de la utilización: es importante tener muy en cuenta los valores pico y promedio

4.1. Uso de CPU

4.1.1. Observe el promedio y los picos de uso de CPU. El promedio podría ser bajo, pero los picos durante las horas de mayor tráfico podrían afectar la calidad de voz con la implementación de VoIP.

4.2. Uso de Memoria

- 4.2.1. Observe el promedio y los picos de uso de Memoria (Para reducir el jitter en una red, se requiere disponer de suficientes buffers).
- 4.3. Utilización de Backplane:
 - 4.3.1. Proporciona un buen indicador de cuanto tráfico pasa a través del switch.
- 4.4. Paquetes descartados
 - 4.4.1. Analizar estadísticas de paquetes descartados
 - 4.4.2. Analizar las horas del día donde existe mayor cantidad de paquetes descartados
 - 4.4.3. Analice los dispositivos que actúan como cuello de botella
- 4.5. Errores de Buffer
 - 4.5.1. Es un indicio de que es necesario adicionar más memoria al dispositivo.
- 4.6. Errores de interfaces:
 - 4.6.1. Errores tales como CRC (cyclic redundancy check), pueden indicar un problema en la interfase física. Este tipo de error podría implicar pérdida de paquetes.
- 4.7. Utilización de Ancho de Banda:
 - 4.7.1. Analizar qué porcentaje de ancho de banda está siendo usado.
 - 4.7.2. Se debe observar la utilización del ancho de banda en los enlaces WAN que transportarán el tráfico de VoIP.
- 4.8. Analizar el MOS máximo teórico. El mismo debería ser mayor que 4.0 para ser considerado bueno.
- 4.9. Analizar la demora que introducen
 - 4.9.1. Hasta 100 ms son tolerables casi sin detección
 - 4.9.2. Entre 100 ms y 200ms las demoras son notadas
 - 4.9.3. Al acercarse a los 300 ms es notable y la conversación se vuelve poco natural
- 4.10. Analizar los efectos del eco
 - 4.10.1. Si el tiempo transcurrido desde que se habla hasta que se percibe el retorno de la propia voz es menor a 30 ms, el efecto del eco no es percibido
 - 4.10.2. Superado este umbral, analizar la incorporación de supresores de eco
- 4.11. Jitter buffers y sus demoras: Se deben prever suficientes buffers para reducir el efecto de la variación de la demora. Sin embargo en la medida que se aumentan estos buffers, se aumenta también la demora.
- 4.12. Analizar el tamaño de los paquetes: Compromiso entre la demora y el ancho de banda. Un paquete grande requeriría completar cierta cantidad de muestras para poder armarse, por lo tanto se genera una demora. Por otro lado paquetes chicos, generan mucho tráfico de encabezamientos, por lo tanto hay un uso poco eficiente del ancho de banda
- 4.13. Analizar la pérdida de datos
 - 4.13.1. Obtener una estadística de la pérdida de paquetes, expresada como un porcentaje del total de enviados.
 - 4.13.2. Medir la pérdida como un porcentaje de datos enviados en un cierto momento del día, promediado sobre el curso de todos días en la evaluación.

Análisis de la Confiabilidad

Objetivo

Los usuarios esperan un alto nivel de disponibilidad del sistema telefónico. En efecto, deben tenerse en cuenta tanto para el diseño como para cada uno de los componentes de la solución, cuáles son los elementos que permiten brindar un mayor nivel de confiabilidad.

Requerimientos

Buenas Prácticas

- Tenga un fuerte control del tráfico de la red.
- Estudie la conformación de tráfico actual, incluyendo las aplicaciones, flujos y prioridades.
- Estudie qué nivel de tráfico tendrá cuando implemente completamente VoIP.
- Controle lo más precisamente posible, lo que fluye desde y hacia fuera de la red (utilizando como referencia por ejemplo el tráfico del firewall). Utilice políticas de administración de la red para controlar la prioridad de cada tipo del tráfico.
- Aplique políticas de administración de usuario, para controlar lo que cada usuario puede hacer y definir qué usuarios pueden tener accesos a los recursos.
- Instale servidores, gateway y IP PBX boxes de muy buena calidad y adminístrelos de forma segura.
- Instale el software requerido, y defina adecuadamente el acceso a los recursos.
- Controle minuciosamente los cambios y quién los puede realizar. Protéjalos apropiadamente para evitar el acceso físico o intrusiones de red.

- Prevea una alimentación ininterrumpible (UPS) para evitar tiempo de inactividad en el servicio por falta de energía eléctrica.

8 ANEXO II – ANÁLISIS DE TRÁFICO

El objetivo del presente apartado, es analizar el tráfico de voz que se produce en una organización distribuida y que tiene un importante tráfico de llamadas de voz entre las mismas. Como insumo principal, se utilizó el registro de las llamadas de la actual central telefónica. Se tomó un mes completo (aproximadamente 2.500 filas), donde figuran el origen y destino de la llamada, duración, costos, etc.

La organización cuenta con vínculos de datos de 512 kbps tipo MPLS sin implementación de calidad de servicio. Originalmente estos vínculos tenían la mitad del ancho de banda, pero por una cláusula contractual que preveía una renovación tecnológica, los mismos se duplicaron. Es importante destacar este aspecto, porque a pesar de que funcionan mejor las aplicaciones de datos, hay un excedente que la organización busca utilizar.

En la siguiente figura se muestra un extracto del detalle de las llamadas entre sucursales volcadas a una planilla de cálculo.

Tabla 6 Detalle de llamadas telefónicas

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Localidad origen de la llamada	Fecha	Hora inicio de la llamada	BHT	A Buenos Aires	A San Martín	A San Juan	A Rararia	Número destino de la llamada	Clave	Destino de la llamada	Duración	Duración en minutos	Costo de cuentas	Costo de aplicación de cuentas	Costo de cuentas	Llamador
453	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:04:28	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:01:33	1,55	\$ 0,93	\$ 0,26	\$ -0,67	1
455	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:08:51	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:01:11	1,18	\$ 0,71	\$ 0,27	\$ -0,44	1
456	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:11:49	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:02:25	2,42	\$ 1,45	\$ 0,40	\$ -1,05	1
461	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:26:03	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:05:23	5,38	\$ 3,24	\$ 0,80	\$ -2,44	1
463	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:27:55	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:33	0,55	\$ 0,34	\$ 0,15	\$ -0,19	1
464	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:29:10	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:01	0,02	\$ 0,05	\$ 0,05	\$ -	1
465	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:29:12	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:11:49	11,82	\$ 7,11	\$ 1,59	\$ -5,52	1
466	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:30:59	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:35	0,58	\$ 0,35	\$ 0,13	\$ -0,22	1
467	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:32:09	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:54	0,90	\$ 0,54	\$ 0,13	\$ -0,41	1
469	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:35:44	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:59	0,98	\$ 0,59	\$ 0,13	\$ -0,46	1
472	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:42:10	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:58	0,97	\$ 0,58	\$ 0,13	\$ -0,45	1
473	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:44:30	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:01:21	1,35	\$ 0,81	\$ 0,26	\$ -0,55	1
476	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:49:00	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:01:21	1,35	\$ 0,81	\$ 0,26	\$ -0,55	1
477	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:50:35	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:04:57	4,95	\$ 2,99	\$ 0,88	\$ -2,31	1
480	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:55:42	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:04	0,07	\$ 0,05	\$ 0,05	\$ -	1
481	Mza- Sede Central	9-jun-06	12:57:47	12	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	*****	10	BUENOS AIRES	0:00:22	0,37	\$ 0,22	\$ -	\$ -0,22	1
2585																	
2586																	
2587																	
2588	Cantidad de Llamador en el mes en BHT	Buenos Aires	140	Total de Llamador en el mes	Buenos Aires	984	Total de minutos en la fecha con mayor cantidad de Llamador en BHT					34,43		\$ 5,29		16	
2589		San Martín	40		San Martín	235	Erlang BH					0,57					
2590		San Juan	35		San Juan	166											
2591		Rararia	4		Rararia	42	Costo mensual de Llamador a Buenos Aires -->					\$ 346,52		ahorro factible con VaIP			
2592																	

Como primer punto de análisis, y según lo expuesto en el Anexo I punto 1.1.7, se evalúan los destinos hacia los cuales se realizan más llamadas. El objetivo de este análisis es identificar el destino que produce mayor tráfico de voz y estudiarlo en forma independiente. En la siguiente figura se muestra el resultado del flujo de llamadas.

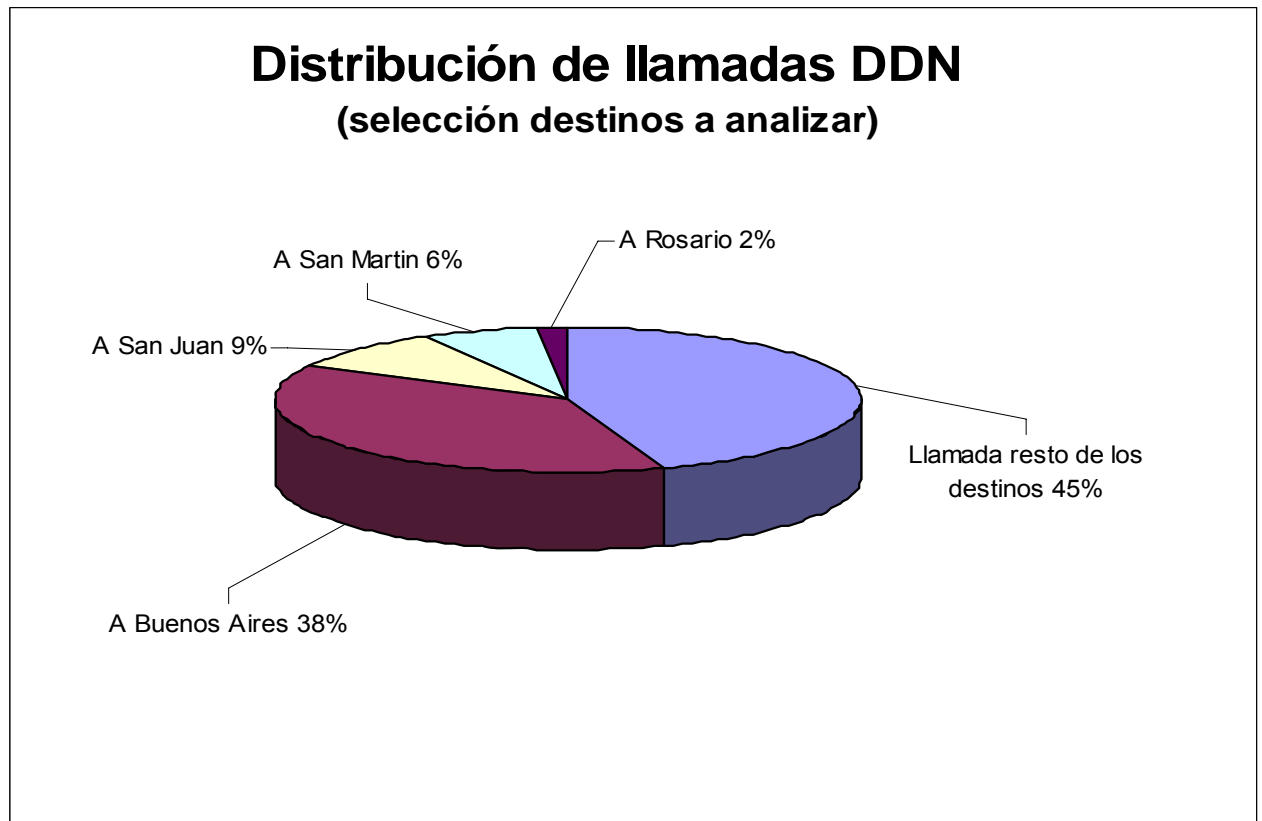


Figura 18 Distribución de Llamadas DDN

Como puede observarse, la mayor demanda de comunicaciones se produce hacia Buenos Aires con un 38 % de llamadas.

Según el punto 1.2 del referido anexo, se deben obtener las estadísticas del volumen de llamadas. Para obtener la hora de mayor ocupación (sugerido en el punto 1.2.1), se analiza el tráfico por cada hora laboral. De tal análisis se obtiene la siguiente gráfica.

Distribución de llamadas en horas laborales (en un mes) para determinar BHT

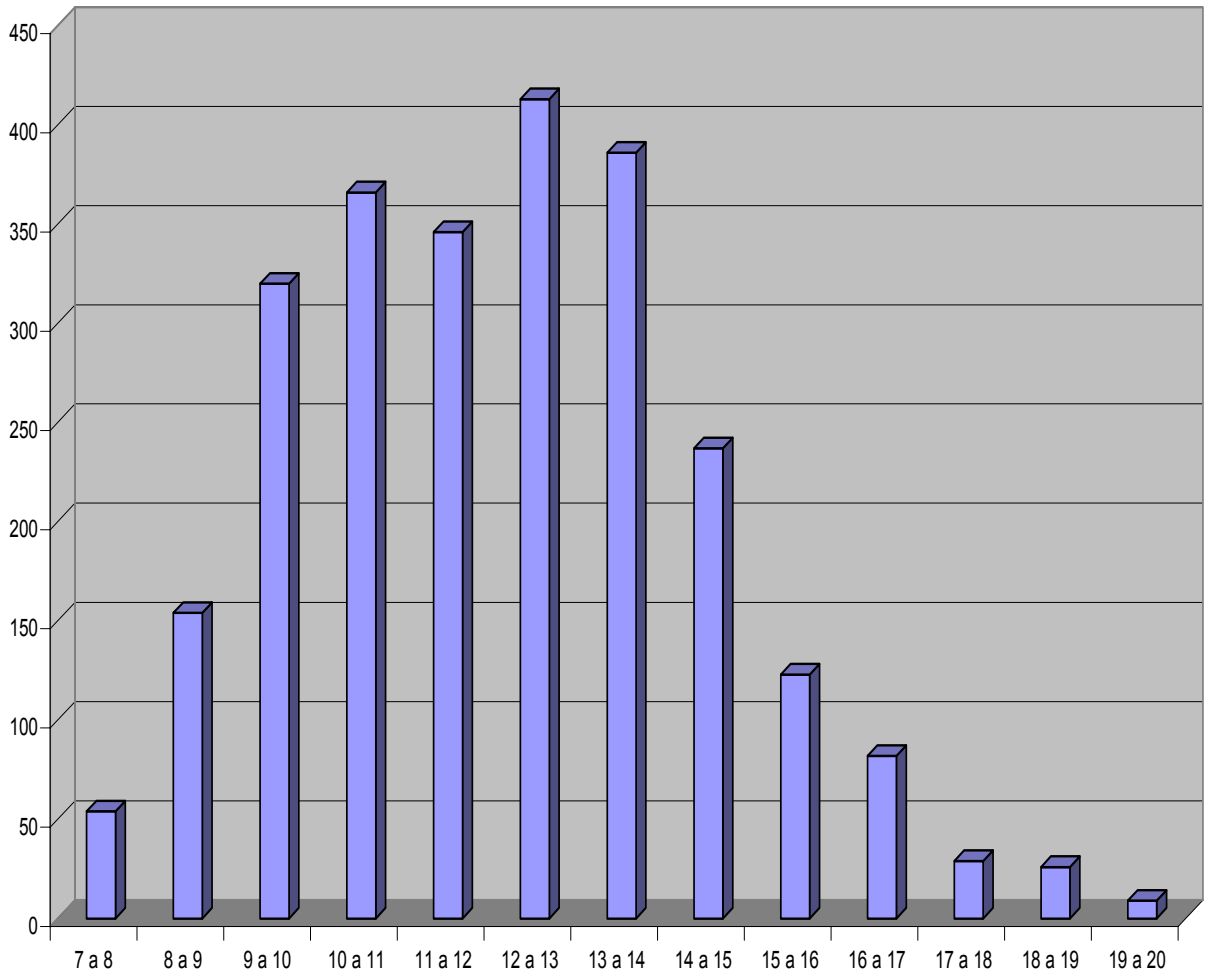


Figura 19: Distribución de llamadas por hora

Como puede observarse en el gráfico, la hora de mayor ocupación es de 12 a 13 hs. En consecuencia se obtiene el tráfico en la hora de mayor ocupación en erlangs el cual se muestra en la siguiente figura.

Tabla 7 Cálculo BHT

2587										
2588	Cantidad de	Buenos Aires	140	Total de	Buenos Aires	984	Total de minutos en los fichos con mayor cantidad de llamadas en BHT	34,43	\$ 5,29	16
2589	llamadas en el mes	San Martín	40	llamadas en	San Martín	235	Erlang BH	0,57		
2590	en BHT	San Juan	35	el mes	San Juan	166				
2591		Rosario	4		Rosario	42	Costo mensual de llamadas a Buenos Aires ->	\$ 366,52	ahorro factible con VoIP	
2592										

En función al valor obtenido (0,57) y asumiendo como porcentaje de llamadas bloqueadas por saturación de servicio (punto 1.2.2.2) de 0.1, se utiliza la calculadora Erlang B (www.erlang.com).

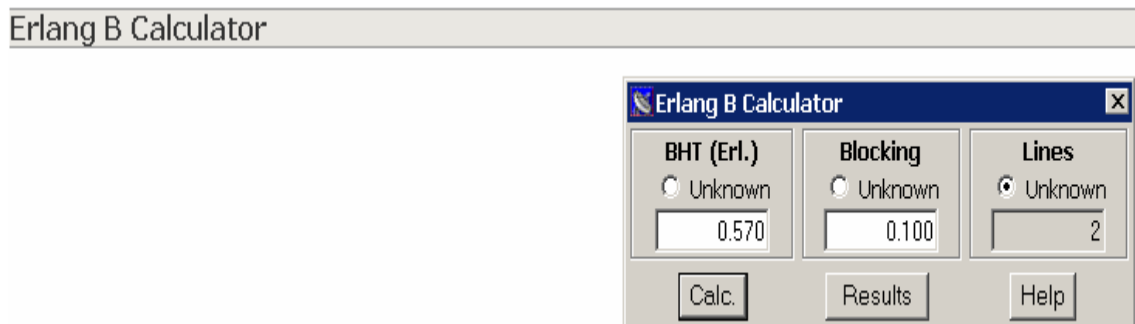


Figura 20: Cálculo de cantidad de líneas

Como resultado del cálculo anterior, se obtiene la cantidad de líneas que se requieren para ese tráfico (en este caso 2). Esto implica que se podría prescindir de ellas, en caso de utilizarse los vínculos de datos (punto 2.3).

El enlace MPLS existente de 512 Kbps destinado a datos (no tiene aplicada ninguna calidad de servicio) tiene un costo mensual de aproximadamente u\$s 500,00. Como ya se dijo, existe suficiente ancho de banda sobre los vínculos por lo que no es necesario ampliarlo y puede destinarse 64k para conducir el tráfico de voz. En este caso debe solicitarse priorización del tráfico sobre dos canales de 32k para poder establecer dos comunicaciones simultaneas; por ello el proveedor de servicios cobra un canon mensual de u\$s 18,00.

Asimismo es necesario agregar un módulo o placa en cada router instalado en los extremos que provea de dos interfaces FXO en el extremo Mendoza y dos interfaces FXS en el extremo Buenos Aires; por ello el proveedor del servicio requiere un canon mensual de u\$s 260,00.-

Según lo propuesto en el punto 2.7 calculamos los costos mensuales de la unificación frente al costo actual en el tráfico de voz.

El canon mensual de la nueva implementación que se obtiene es de \$ 899,00 ($u\$s\ 260 + u\$s\ 18 = u\$s\ 278 * \$3,20$), que comparado con el ahorro mensual de \$ 366,52, no cubre los costos fijos requeridos por el servicio.

9 ANEXO III – VALORACIÓN DEL EQUIPAMIENTO

En el presente anexo se incluye valoración de un proyecto de un edificio nuevo en una organización de la Provincia de Mendoza. Debido a que se trata de un edificio nuevo y no hay condicionantes para ninguna de las posibles implementaciones, se analizaron soluciones de telefonía IP y la implementación de centrales telefónicas tradicionales. En la organización no existe en la actualidad ninguna solución de telefonía IP, y el propósito es precisamente analizar estas opciones antes de tomar decisiones en función a la forma habitual de resolverlo. El edificio proyectado cuenta con 3 plantas²² con aproximadamente 600 puestos de trabajo.

En la siguiente planilla se muestra un análisis preliminar de costos referidos a los equipos de comunicaciones que cada solución demanda.

Tabla 8 Costos de ambas soluciones

	<i>Cantidades</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Precio dólar</i>	<i>Subtotales</i>
Solución IP de Cisco				
<i>router Cisco</i>	2	USD 4.000	\$ 3,20	\$ 25.600
<i>telef ip Cisco</i>	50	USD 250	\$ 3,20	\$ 40.000
<i>adaptador Cisco para 2 tel analog</i>	75	USD 250	\$ 3,20	\$ 60.000
<i>telef analogico buena calidad</i>	150	\$ 120,00		\$ 18.000
<i>call manager Cisco hard y soft</i>	2	USD 20.000	\$ 3,20	\$ 128.000
				\$ 271.600
PBX Ericsson				
<i>tel digital ericsson 4222</i>	50	USD 157	\$ 3,20	\$ 25.168
<i>tel analog ericsson 4106</i>	150	USD 48	\$ 3,20	\$ 23.232
<i>central MD110 + bat</i>		\$ 141.476,80		\$ 226.363
				\$ 274.763

Como puede observarse, no existe una diferencia considerable entre ambas soluciones (un 1 %).

²² Se adjunta plano de planta

Por otro lado, debido a que se trata de un edificio a construir, la implementación de cableado estructurado debe implementarse según la solución por la que se opte. En la medida en que la cantidad de cables al puesto de trabajo se reducen (un 50 %), se reducen también las canalizaciones, los patch panels, requerimientos de patch cords, etc.

Debido a que los terminales telefónicos de la solución VoIP requieren alimentación eléctrica utilizando el mismo cableado de red, se analizó la diferencia que generaría la implementación de switches que soportan PoE en relación al costo de equipos que no lo soportan.

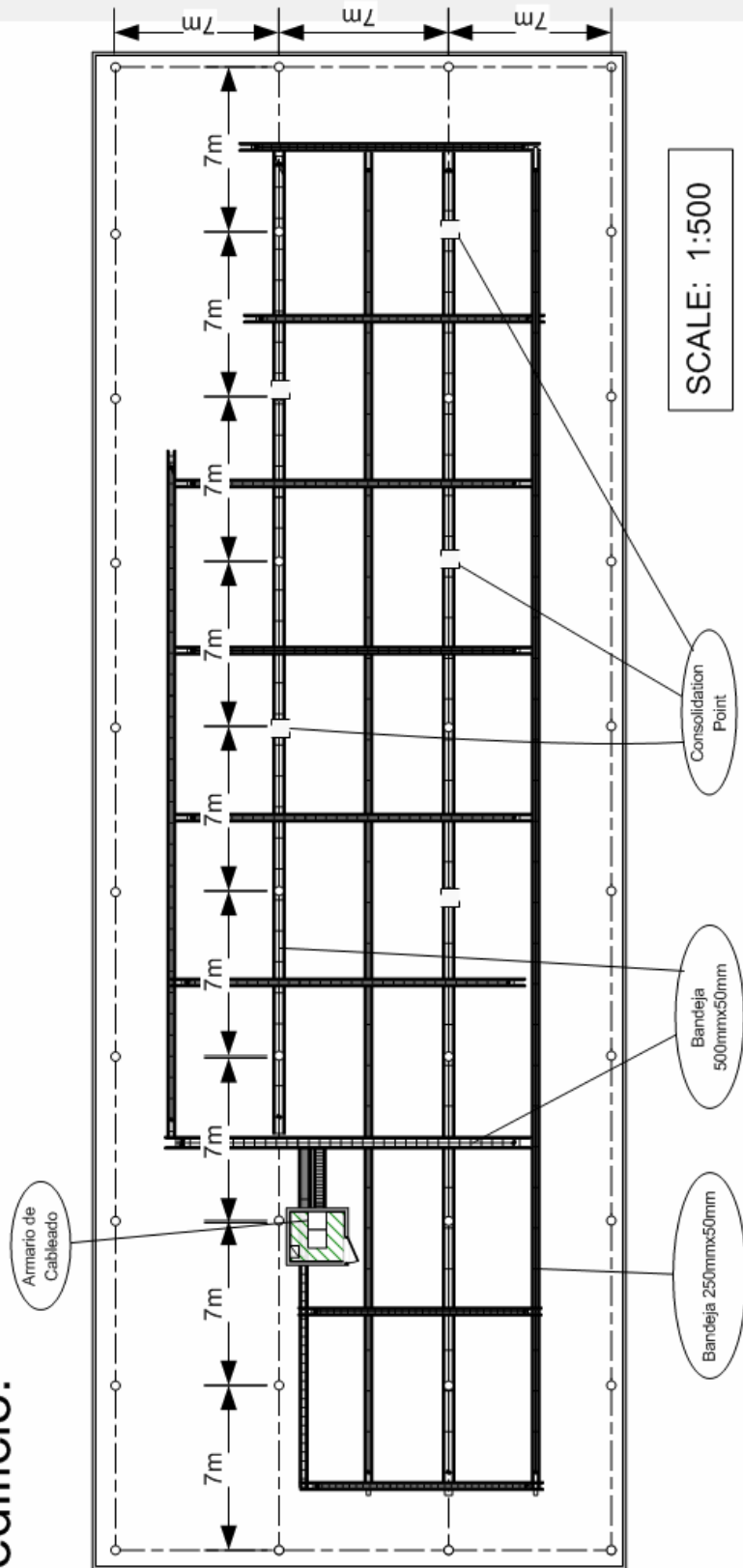
Los costos para ambas soluciones que se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla 9 Detalle de materiales para cableado

			<i>Otros elementos involucrados</i>	<i>Solución PBX tradicional</i>	<i>Solución con VoIP</i>
3	30.000	m	Cables utp	\$ 34.848,00	\$ 17.424,00
3	100	m	Cable multipar	\$ 679,66	\$ 0,00
3	1.200	u	Patch cord para cruzadas dentro del armario de cableado	\$ 5.575,68	\$ 2.787,84
3	600	u	Patch cord de transición para conectar periscopio al punto de consolidación	\$ 16.262,40	\$ 8.131,20
3	13	u	Patch panels en armario de cableado	\$ 9.680,00	\$ 4.840,00
3	12	u	Patch panels montante telefonía	\$ 4.646,40	\$ 0,00
3	30	u	Patch panels en puntos de consolidación	\$ 11.616,00	\$ 5.808,00
3	6	u	Rack en armario de cableado	\$ 9.000,00	\$ 4.500,00
3	435	m	Bandejas portacables 500x50mm	\$ 19.575,00	\$ 0,00
3	435	m	Bandejas portacables 300x50mm	\$ 0,00	\$ 9.787,50
3	780	m	Bandejas portacables 250x50mm	\$ 15.600,00	\$ 0,00
3	780	m	Bandejas portacables 150x50mm	\$ 0,00	\$ 11.700,00
3	600	u	Conectores RJ45 hembra en puesto de trabajo	\$ 11.151,36	\$ 5.575,68
3	13	u	Switches sin / con POE	\$ 45.375,00	\$ 75.625,00
			Total	\$ 184.009,50	\$ 146.179,22

Como puede observarse, existe una mayor diferencia entre ambas soluciones (más del 20 %). Debido a que son costos proporcionales a la magnitud de la instalación, en la medida que aumenta la cantidad de puestos de trabajo resulta más notable la diferencia entre ambas implementaciones.

Ciudad de Mendoza Croquis en planta correspondiente a los Pisos 1, 2 y 3 del edificio.



10 ANEXO IV: MEDIDA DE LA CALIDAD DE VOZ EN REDES IP[3][4][5]

Los métodos para medir la calidad de voz se dividen básicamente en dos tipos: *subjetivos* y *objetivos*.

10.1 MÉTODOS SUBJETIVOS

La calidad de la voz se establece a través de la opinión del usuario. La calidad de audio puede ser evaluada directamente (ACR = Absolute Category Rating), o en forma comparativa contra un audio de referencia (DCR = Degradation Category Rating). Con evaluaciones directas (del tipo ACR) se califica el audio con valores entre 1 y 5, siendo 5 “Excelente” y 1 “Malo”. El MOS (Mean Opinion Score) es el promedio de los ACR medidos entre un gran número de usuarios.

Si la evaluación es comparativa, (del tipo DCR), el audio se califica también entre 1 y 5, siendo 5 cuando no hay diferencias apreciables entre el audio de referencia y el medido y 1 cuando la degradación es muy molesta. El promedio de los valores DCR es conocido como DMOS (Degradation MOS).

La metodología de evaluación subjetiva más ampliamente usada es la del MOS (Mean Opinión Score), estandarizada en la recomendación ITU-T P.800 [3].

Adicionalmente, se puede evaluar la calidad del audio y la calidad de la conversación, las que pueden ser diferentes. La calidad de la conversación implica una comunicación bidireccional, donde por ejemplo, los retardos juegan un papel muy importante en la calidad percibida. Los valores obtenidos con las técnicas ACR (es decir, el MOS) puede estar sujetos al tipo de experimento realizado. Por ejemplo, si se utilizan varias

muestras de buena calidad, una en particular puede ser calificada peor que si esa misma muestra se presenta junto a otras de peor calidad.

Los métodos subjetivos son en general caros y lentos porque requieren un gran plantel de usuarios. Son dependientes entre otros factores del país, del idioma así como de las experiencias previas de los usuarios.

10.1.1 E-Model

La ITU-T ha creado un “modelo” en la recomendación ITU-T G.107²³, llamado “E-Model” [4], para estimar o predecir la calidad de la voz en redes IP (VoIP) percibida por un usuario típico, en base a parámetros medibles de la red. El resultado del E-Model es un factor escalar, llamado “R” (“Transmission Rating Factor”), que puede tomar valores entre 0 y 100. El “E-model” toma en cuenta una gran cantidad de factores que pueden deteriorar la calidad de la voz percibida, como por ejemplo, el uso de compresión, los retardos de la red, así como también los factores “típicos” en telefonía tales como pérdida, ruido y eco. Puede ser aplicado para estimar la calidad de la voz en redes de paquetes, tanto fija como inalámbrica [5].

El E-Model puede ser utilizado para evaluar como se verá afectada la calidad de la voz en una red en base a parámetros mensurables. El modelo parte de un puntaje “perfecto” (100) y resta diversos factores que degradan la calidad, según se puede ver en la ecuación.

$$R = R_o - I_s - I_d - I_{e,eff} + A$$

Donde:

²³ Las publicaciones ITU pueden ser vistas en http://www.itu.int/publications/main_publications.html

R_o Representa la relación señal/ruido básica (antes de ingresar en la red) que incluye fuentes de ruido, tales como ruido ambiente. El valor inicial puede ser como máximo 100. Las fuentes de ruido independientes del sistema (como puede ser el ruido ambiental), pueden hacer que este valor inicial sea menor a 100.

I_s Es una combinación de todas las degradaciones que aparecen de forma más o menos simultánea con la señal vocal. Por ejemplo, volumen excesivo y distorsión de cuantización.²⁴

I_d Representa las degradaciones producidas por el retardo y el eco.

$I_{e,eff}$ “Effective equipment impairment factor”. Representa las degradaciones producidas por los códecs y por las pérdidas de paquetes de distribución aleatoria.

A Factor de Mejoras de Expectativas. Muchas veces, los usuarios están dispuestos a aceptar peor calidad de voz si saben que se están utilizando tecnologías “no clásicas” (por ejemplo celulares o VoIP). Permiten compensar los factores de degradación cuando existen otras ventajas de acceso para el usuario.

Los tres tipos de degradaciones (I_s , I_d , $I_{e,eff}$) se subdividen, a su vez, en la combinación de otros factores, como se detalla a continuación.

10.1.1.1 Cálculo de I_s

$$I_s = I_{oir} + I_{st} + I_q$$

Donde

²⁴ Error introducido por la cantidad finita de bits por muestra

I_{olr} Representa la disminución de calidad producida por valores demasiado bajos de OLR (Overall Loudness Rating). El OLR se calcula, a su vez, como

$$OLR = SLR + RLR$$

Siendo

SLR (Send Loudness Rating), es la pérdida entre la boca del emisor y el micrófono del aparato telefónico

RLR (Receive Loudness Rating), es la pérdida entre el parlante del aparato telefónico y el oído del receptor

I_{st} Representa la degradación producida por efectos locales no óptimos, y depende esencialmente del factor STMR (Side Tone Masking Rating).

Parte de la señal recibida por el micrófono es transmitida, dentro del mismo teléfono, al parlante, generando un “efecto local” que hace que la persona que habla se escuche por el oído en el que tiene el tubo o microteléfono. La atenuación de la señal que pasa del micrófono al parlante del mismo aparato se conoce como STMR. Si este valor no está dentro de los parámetros adecuados, genera una sensación de “eco”, o de “línea muerta”, según el caso, bajando la calidad de la comunicación.

I_q Representa la degradación producida por la distorsión de cuantificación. Se calcula en base a “unidades qdu”. 1 qdu se define como el “ruido” de “cuantización” que resulta de una codificación y decodificación completas en Ley A o Ley μ

La fórmula de cálculo detallada de los parámetros (I_{olr} , I_{st} , I_q) puede verse en la recomendación G.107 [4].

10.1.1.2 Cálculo de I_d

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

Donde

I_{dte} Expresa una estimación para las degradaciones debidas al eco para el que habla. Se calcula en base al factor TELR (Talker Echo Loudness Rating) y la demora media T de punta a punta en un sentido. El factor TELR es la medida de la atenuación del eco percibido por el hablante.

I_{dle} Representa degradaciones debidas al eco para el oyente. Se calcula en base al factor WEPL (Weighted Echo Path Loss) y la demora media T_r de ida y vuelta. El factor WEPL es la medida de la atenuación entre la señal "directa" recibida por el oyente, la señal retardada recibida como eco.

I_{dd} Representa la degradación producida por retardos absolutos demasiado largos T_a , que se producen incluso con compensación perfecta del eco. Si $T_a < 100$ ms, el factor I_{dd} es 0.

La fórmula de cálculo detallada de los parámetros (I_{dte} , I_{dle} , I_{dd}) puede verse en la recomendación G.107.

El efecto de la demora en el valor de R se grafica en la siguiente figura, asumiendo todos los otros factores ideales.

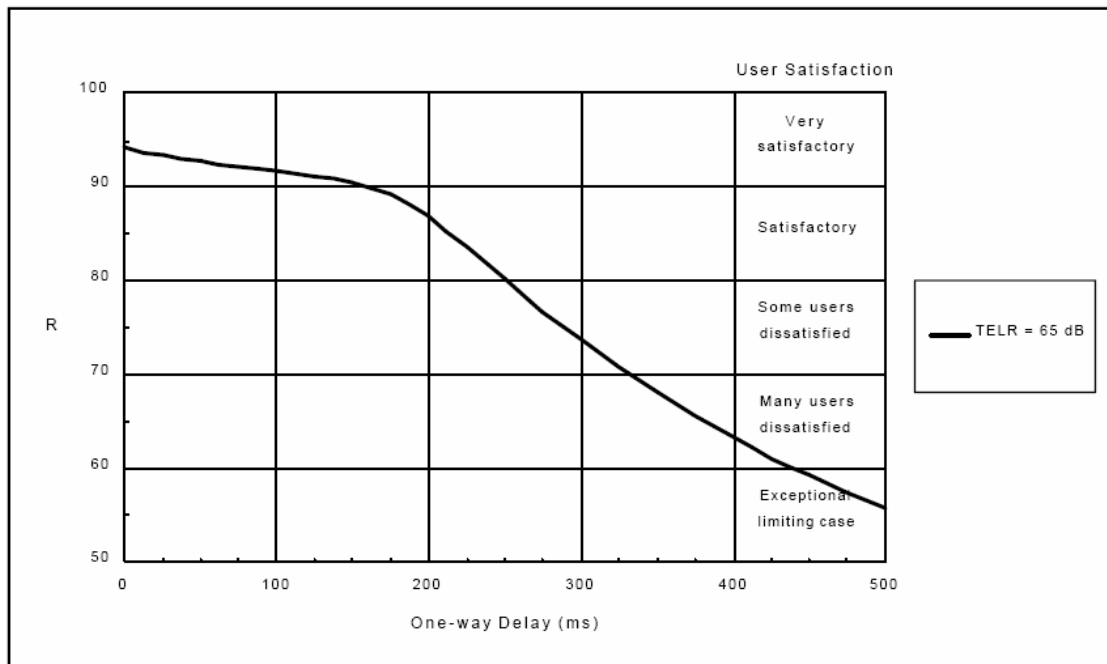


Figura 21: Efecto de la demora en el valor de R [9]

Puede verse como hasta 175 ms el valore de R es mayor que 90, y se encuentra en la zona de “Muy satisfechos”. Sin embargo, luego de los 175 ms, el efecto de las demoras degrada fuertemente la comunicación, haciéndola poco natural.

Si a la gráfica anterior se le suma el efecto del eco, el modelo E predice las siguientes curvas:

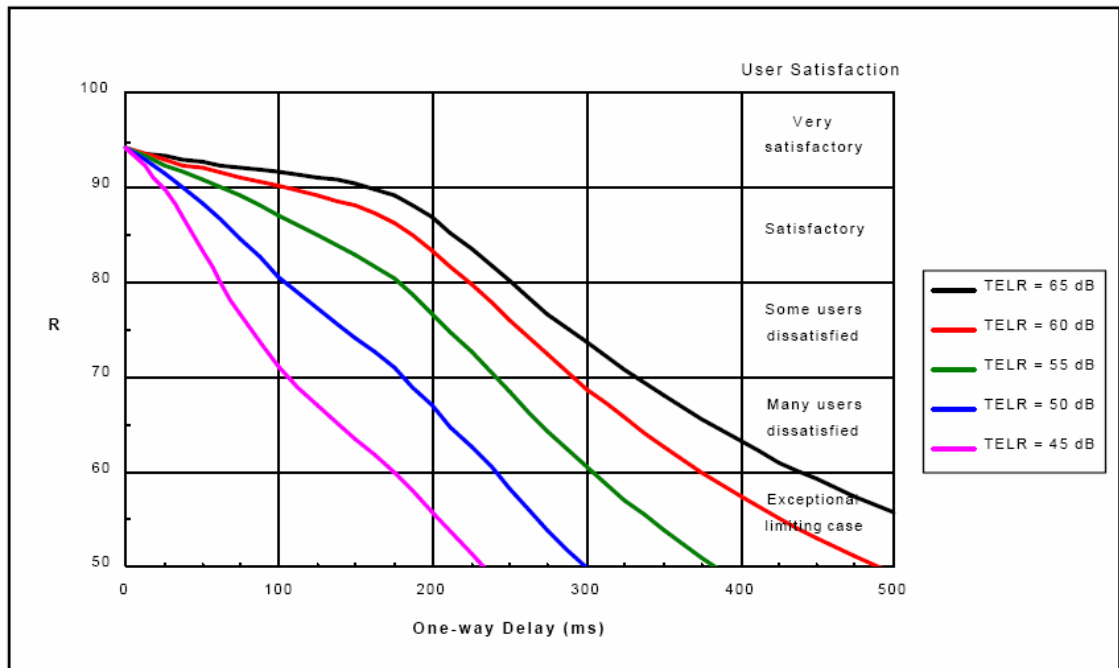


Figura 22: Efecto de la demora y el eco en el valor de R [9]

Es de hacer notar que el valor TELR es la medida de la atenuación del eco percibido por el hablante. Cuanto más atenuado el eco percibido (mayor valor en db de TELR), menor efecto tiene el eco sobre la degradación. En la medida que aumenta el eco, el valor de R decrece rápidamente con el retardo.

10.1.1.3 Cálculo de I_{e-eff}

I_{e-eff} representa las degradaciones producidas por los códecs y por las pérdidas de paquetes, según la siguiente fórmula:

$$I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{(P_{pl} + (BurstR + B_{pl}))}$$

Donde

I_e Es un valor que depende del Codec utilizado, y representa la degradación percibida producida por los diferentes algoritmos de compresión.

P_{pl} Representa la probabilidad de pérdida de paquetes

B_{pl} Se define como el "factor de robustez" contra pérdida de paquetes, y es un valor preestablecido para cada Códec

BurstR Es la "Relación de ráfaga", y se define como

Longitud media de las ráfagas previstas en la red en condiciones de pérdida "arbitraria "

BurstR = Longitud media de las ráfagas observadas en una secuencia de llegada

En una red sin pérdida de paquetes y sin eco, el valor de R dependerá de la demora y de los codecs utilizados, según se muestra en la siguiente gráfica, para G.711, G.729A y G.723.1 (notar que la gráfica "negra" coincide con las gráficas anteriores)

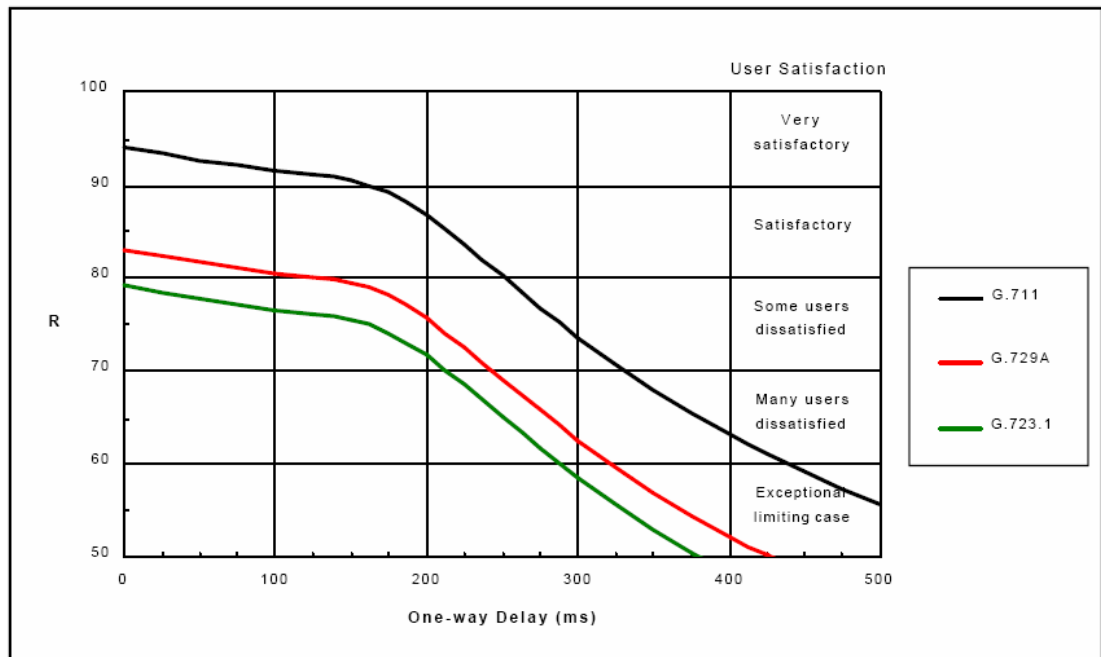


Figura 23: Valor de R para los distintos codecs [9]

10.1.1.4 Cálculo de A

A representa un “Factor de Mejoras de Expectativas”. Muchas veces, los usuarios están dispuestos a aceptar peor calidad de voz si saben que se están utilizando tecnologías “no clásicas” (por ejemplo celulares o VoIP). No existe, por consiguiente, ninguna relación entre A y los demás parámetros de transmisión. El cuadro siguiente presenta los valores típicos de A para diferentes tecnologías, según la recomendación ITU-T G-113 [10].

Tabla 10: Valores típicos de A para diferentes tecnologías

Ejemplo de sistema de comunicación	Valor máximo de A
Convencional (alámbrico)	0
Movilidad mediante redes celulares en un edificio	5
Movilidad en una zona geográfica o en un vehículo en movimiento	10
Conexión con lugares de difícil acceso, por ejemplo, mediante conexiones de múltiples saltos por satélite	20

10.1.1.5 Relación de R y MOS

El modelo relaciona el valor de “R” con el “MOS”, con un gran nivel de aproximación, según la siguiente ecuación:

$$\text{Para } R < 6.5: \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 1$$

$$\text{Para } 0 < R < 100: \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 1 + 0,035R + \frac{R(R - 60)(100 - R)}{7} \times 10^{-6}$$

$$\text{Para } R > 100: \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 4,5$$

Las siguientes figuras muestran la relación entre R y MOS, según la fórmula anterior:

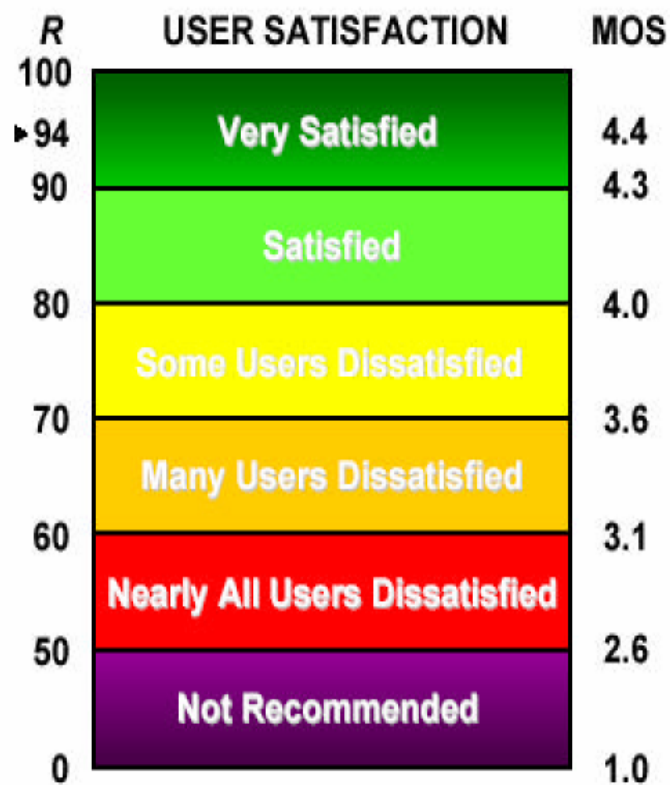
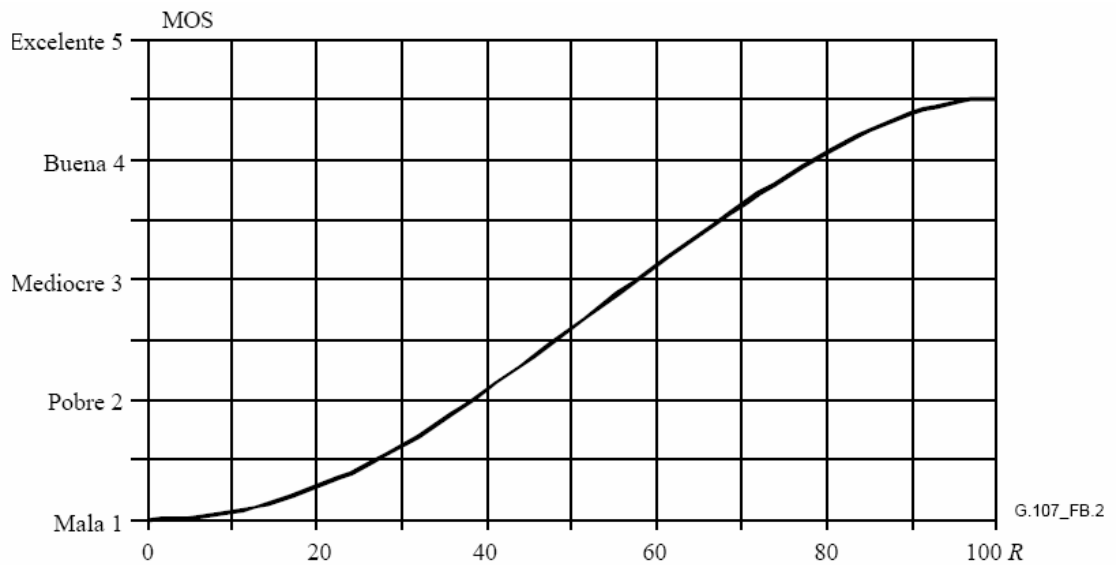


Figura 24: Relación entre R y MOS [17]

10.1.1.6 Aplicación del E-model

El RFC 3611 define campos de “reportes extendidos” (XR, Extended Reports) en el protocolo RTCP que permiten intercambiar información acerca de la calidad de la comunicación. En este RFC se incluye la posibilidad de intercambiar información del valor de “R” entre fuentes y destinos, así como los valores percibidos de MOS-LQ (MOS listening quality) y MOS-CQ (MOS conversational quality)

10.1.2 ITU-T P.862 (PESQ)

La recomendación ITU-T P.862 presenta un método objetivo para la evaluación de la calidad vocal de extremo a extremo de redes telefónicas de banda estrecha y códecs vocales. Esta recomendación describe un método objetivo para predecir la calidad subjetiva de la voz telefónica utilizando los códecs más comunes. Presenta una descripción de alto nivel del método, explica la forma de utilizar este método y parte de los resultados de referencia obtenidos por la Comisión de Estudio 12 de la ITU-T en el periodo 1999-2000. Proporciona adicionalmente una implementación de referencia escrita en el lenguaje de programación ANSI-C.

El método objetivo descrito se conoce por "evaluación de la calidad vocal por percepción" (PESQ, perceptual evaluation of evaluation of speech quality) y es el resultado de varios años de trabajos de desarrollo. PESQ compara una señal inicial $X(t)$ con una señal degradada $Y(t)$ que se obtiene como resultado de la transmisión de $X(t)$ a través de un sistema de comunicaciones (por ejemplo, una red IP). La salida de PESQ es una

predicción de la calidad percibida por los sujetos en una prueba de escucha subjetiva que sería atribuida a $Y(t)$.

El primer paso de PESQ consiste en una alineación temporal entre las señales iniciales $X(t)$ y degradada $Y(t)$. Para cada intervalo de señal se calcula un punto de arranque y un punto de parada correspondientes.

Una vez alineadas, PESQ compara la señal (entrada) inicial con la salida degradada alineada, utilizando un modelo por percepción, como el representado en la siguiente figura:

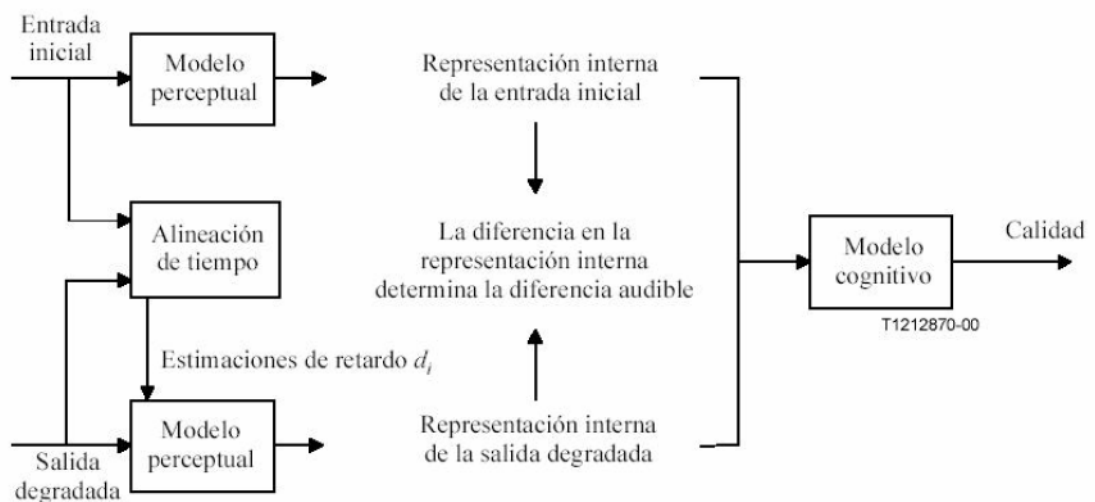


Figura 25: Modelo por percepción

Lo esencial en este proceso es la transformación de las dos señales, la inicial y la degradada, en una representación interna que intenta reproducir la representación psicoacústica de señales de audio en el sistema auditivo humano, teniendo en cuenta la frecuencia por percepción (Bark) y la sonoridad (Sone).

El modelo cognitivo de PESQ termina brindando una distancia entre la señal vocal inicial y la señal vocal degradada (“nota PESQ”), la que

corresponde a su vez con una predicción de la MOS subjetiva. La nota PESQ se hace corresponder a una escala similar a la de MOS, un número único en una escala de $-0,5$ a $4,5$, aunque en la mayoría de los casos la gama de las salidas estará entre $1,0$ y $4,5$, que es la gama normal de valores de MOS que suelen darse en un experimento sobre la calidad de voz.

La descripción detallada del algoritmo es compleja, y puede verse en la Recomendación referenciada.

El método PESQ es objetivo e intrusivo, ya que requiere del envío de una señal conocida de referencia para evaluar la calidad percibida de la voz. Algunos sistemas lo implementan enviando un par de segundos de audio conocido, lo que basta para poder aplicar el método.

10.1.3 ITU-T P.563

El algoritmo P.563 es aplicable para la predicción de la calidad vocal sin una señal de referencia independiente. Por ese motivo, este método se recomienda para la evaluación no intrusiva de la calidad vocal y para la supervisión y evaluación con la red en funcionamiento, empleando en el extremo lejano de una conexión telefónica fuentes de señal vocal desconocidas.

En comparación con la Rec. ITU-T P.862 (que utiliza el método 'basado en dos extremos' o 'intrusivo') que compara una señal de referencia de elevada calidad con la señal degradada en base a un modelo perceptual, P.563 predice la calidad de la voz de una señal degradada sin una señal vocal de referencia dada.

El enfoque utilizado en P.563 puede visualizarse como un experto que escucha una llamada real con un dispositivo de prueba, tal como un

microteléfono convencional conectado en paralelo a la línea. Esta visualización permite explicar la principal aplicación y permite al usuario clasificar las puntuaciones obtenidas mediante P.563. La puntuación de calidad que se predice mediante P.563 está relacionada con la calidad percibida en extremo receptor.

La señal vocal que debe evaluarse se analiza de varias formas, que detectan un conjunto de parámetros de señal característicos. En base a un conjunto restringido de parámetros clave se establece la asignación a una clase de distorsión principal.

Básicamente, la parametrización de la señal del algoritmo P.563 puede dividirse en tres bloques funcionales independientes que se corresponden con las tres clases de distorsión principales:

- Análisis del tracto vocal y desnaturalización de la voz
 - voces masculinas
 - voces femeninas
 - marcada robotización
- Análisis de un ruido adicional intenso
 - SNR estática reducida (nivel básico del ruido de fondo)
 - SNR por segmentos reducida (ruido relacionado con la envolvente de la señal).
- Interrupciones, silenciamientos y recorte temporal

El modelo de calidad vocal de P.564 se compone de tres bloques principales:

1. Decisión sobre la clase de distorsión de que se trata.
2. Evaluación de la calidad vocal intermedia para la correspondiente clase de distorsión.
3. Cálculo global de la calidad vocal.

Cada clase de distorsión utiliza una combinación lineal de varios parámetros para generar la calidad vocal intermedia.

La calidad vocal definitiva se calcula combinando los resultados de calidad vocal intermedia con algunas características adicionales de la señal.

La descripción detallada del algoritmo es compleja, escapa al análisis del presente anexo.

11 ANEXO V: PROTOCOLOS PARA PRESTAR EL SERVICIO VOIP CON CALIDAD DE SERVICIO ADECUADA [6]

11.1 Protocolo de transporte en tiempo real (RTP)

El RTP es un protocolo de transporte y control adaptado a las aplicaciones en tiempo real. Se describe en la Recomendación RFC1889 del IETF y ofrece facilidades para que las aplicaciones:

- reconstruyan la base temporal de los flujos de audio, vídeo y datos en tiempo real, en general;
- detecten rápidamente las pérdidas de paquete e informen a la fuente en un periodo compatible con el servicio;
- identifiquen el contenido de los datos y garanticen la transmisión segura.

El RTP es independiente del protocolo de transmisión subyacente y de las redes atravesadas. Por lo general, se emplea por encima del simple protocolo de datagramas, tal como UDP. El RTP funciona de extremo a extremo y no reserva ningún recurso en la red, pues no se efectúa ninguna acción en los routers (el control de calidad de servicio no se realiza con dicho protocolo). También se suele utilizar junto con un protocolo de reservación de recursos, como el RSVP. El RTP no es fiable, sólo ofrece ciertas características de un protocolo de transporte y tampoco proporciona el reenvío automático de paquetes perdidos.

Aunque el RTP no garantiza el tiempo de entrega, su contribución a los intercambios en tiempo real es muy importante. Este protocolo suministra información de alta utilidad para el transporte de contenido. Además, asigna a los paquetes indicaciones del tiempo en que fueron generados, lo que simplifica su entrega al destinatario en orden correcto. También

incluye mecanismos para detectar y sincronizar trenes diferentes, que permiten reconocer inmediatamente que un paquete pertenece a determinado tren.

En el siguiente cuadro se resumen las características principales del RTP.

Tabla 11 : Protocolo de transporte en tiempo real

Fiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> No es fiable si se utiliza junto con UDP o IP, que a su vez no son fiables. Puede apoyarse en el servicio prestado por las capas inferiores de las redes que funcionan en modo conectado (por ejemplo capas ATM, AAL3/4 o AAL5).
Control de congestión	<ul style="list-style-type: none"> No tiene un mecanismo de control de congestión incorporado, como TCP.
Estabilidad de trenes	<ul style="list-style-type: none"> No garantiza el control de los tiempos de transmisión o la continuidad de flujo en tiempo real.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> No reserva ningún recurso y no repercute directamente en el comportamiento de red.
Información y herramientas para el destinatario	<ul style="list-style-type: none"> El encabezamiento RTP contiene varios ítems de información para la sincronización y restitución de la señal en el receptor, a saber: indicación de tiempo, índices de tren y secuencias, fuentes que contribuyen, etc.
Información para el remitente	<ul style="list-style-type: none"> No proporciona, por sí mismo, ninguna información útil al remitente. Se utiliza por lo general con el protocolo RTCP, que ofrece al remitente una información muy completa acerca de la calidad de transmisión: pérdidas de paquetes, retardos etc. Permite al remitente modular su velocidad de salida según los recursos disponibles.

11.2 Protocolo de control de transporte en tiempo real (RTCP)

Es un protocolo basado en la transmisión periódica de paquetes de control a todos los participantes en una sesión. Utiliza el mismo mecanismo de transmisión que los paquetes de datos RTP. El protocolo subyacente, en este caso el UDP, se encarga de multiplexar los paquetes de datos RTP y los paquetes de control RTCP.

El paquete RTCP sólo contiene la información necesaria para el control de transporte y no transporta ningún contenido. Está compuesto por un encabezamiento de conjunto, similar al de los paquetes RTP que transportan el contenido, seguido de otros elementos que dependen del

tipo de paquete RTCP. Se definen varios tipos de paquete RTCP, para transportar una amplia variedad de información de control. A continuación se muestran los cinco tipos más comunes de paquetes RTCP.

Tabla 12: Tipos de paquetes RTCP

SR (Informe de emisor)	Conjunto de estadísticas de transmisión y recepción que proviene de participantes que son emisores activos.
RR (Informe del receptor)	Conjunto de estadísticas que proviene de participantes que sólo son receptores.
SDES (Descripción de fuente)	Los paquetes de descripción de fuente están compuestos de varios elementos, incluido el CNAME. Constituyen la «tarjeta de visita» de la fuente.
BYE (Mensaje de fin)	Indica que se termina una sesión.
APP	Funciones específicas de una determinada aplicación.

Los destinatarios de los paquetes RTP devuelven información sobre la calidad de recepción, utilizando diferentes formas de paquetes RTCP, según si son emisores de contenido o no. Los dos tipos, SR y RR, contienen ninguno, uno o varios bloques de informe de receptor, previstos para la sincronización de las fuentes de las cuales el receptor ha recibido un paquete de contenido RTP desde el último informe. La evaluación de la calidad de recepción no es sólo útil para el emisor, sino también para el receptor y cualquier supervisor de red que pudiera existir. El emisor puede modificar su transmisión de acuerdo con la información recibida; el receptor puede inferir si las dificultades de recepción que observa son de origen local, regional o más amplio. El supervisor recibirá solamente los paquetes RTCP, con lo cual podrá evaluar la calidad de funcionamiento de la red.

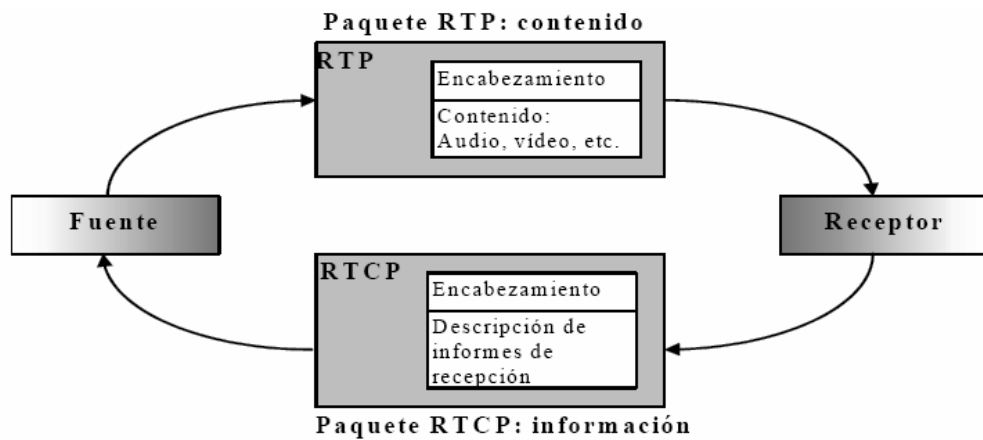


Figura 26: Paquetes RTP y RTCP para el control de la calidad en recepción [6]

11.3 Protocolo de reservación de recursos (RSVP)

El protocolo Internet se diseñó expresamente con el fin de desplazar la inteligencia hacia los sistemas de extremo, y debe su éxito a esta simplicidad y ausencia de diversos estados. Ahora bien, a pesar de los esfuerzos para adaptar los sistemas terminales (transmisores y receptores), siguen existiendo problemas críticos en la red. Los sistemas que componen la red IP aún aplican el mismo procedimiento de encaminamiento prescindiendo del origen de los paquetes, los cuales son tratados de la misma manera conforme al principio FIFO (primero en llegar, primero en salir). Éste es un proceso de transporte y encaminamiento simple, fácil de ejecutar y que requiere un procesamiento mínimo por parte de los routers. El nodo determina el trayecto que el paquete seguirá, en base a las tablas de encaminamiento y, en particular, a los dos criterios siguientes.

- el número de reenvíos o etapas hacia el destino: se prefiere el camino más corto;

- la capacidad instalada de los enlaces: se escoge la mejor velocidad binaria.

En la práctica, el primer criterio es más importante a la hora de tomar una decisión de encaminamiento, lo que explica la tendencia de que los paquetes sigan siempre el mismo trayecto durante una sesión de conexión. Conforme a este principio de funcionamiento de los routers de red IP, un flujo en tiempo real, por ejemplo de paquetes de una llamada telefónica, será colocado sistemáticamente al final de la cola en el router, como todos los otros tipos de paquetes. Este principio de funcionamiento es, por ende, incapaz de satisfacer las mismas restricciones de tiempo impuestas por las transmisiones en tiempo real. Una de las soluciones más usuales consiste en incorporar en los routers de red IP una estrategia dinámica para regular cada tren.

Desde 1989, en varias propuestas de los Grupos de Trabajo del IETF se ha sugerido la introducción en los routers de un mecanismo de «cola justa», proporcional a la calidad de servicio requerida para cada aplicación. Esta reflexión condujo al desarrollo y adopción ulterior del protocolo de reservación de recursos (RSVP), que actúa en la red a nivel de sus routers, para canalizar y disciplinar su comportamiento y hacerlo compatible con los requisitos de funcionamiento en tiempo real.

Se puede considerar el RSVP como uno de los medios para que Internet pueda transformarse en una red de servicios integrados que proporcione un servicio de tipo «sin garantías» (*best effort*) y una calidad de servicio en tipo tiempo real. Cuando una aplicación en tiempo real requiera determinado nivel de calidad de funcionamiento para su tren de datos, RSVP solicitará a los routers el trayecto o trayectos que reserven suficientes recursos para mantener dicho nivel de calidad. El RSVP es dirigido por el receptor. De hecho, es el destinatario y no el transmisor

quien emite una petición de calidad de servicio de acuerdo con sus necesidades. Esta petición es encaminada al emisor como un mensaje RSVP. Estos mensajes circulan en el sentido opuesto al tren de datos.

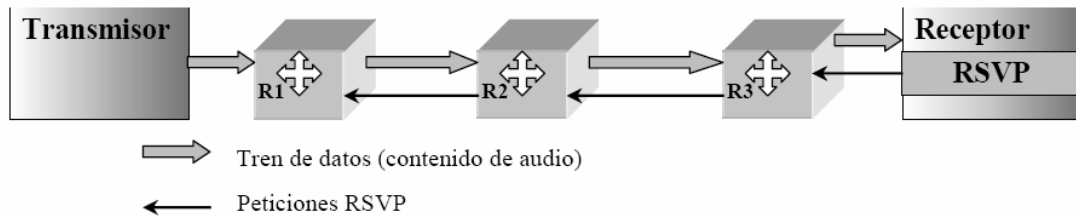


Figura 27: Flujo de datos y peticiones RSVP [6]

Cuando una aplicación requiere un cierto nivel de calidad de servicio, transmite la petición correspondiente al núcleo de software RSVP implantado en el router. Este último distribuye la petición a todos los routers intermedios por los que ha de pasar el paquete desde la fuente. En cada nodo, y conforme a la calidad de servicio solicitada, el RSVP ordena los paquetes basándose en un procedimiento de decisión (control de admisión). Si el paquete pasa esta etapa con éxito, el RSVP ha establecido un perfil de paquete y lo ha transmitido al clasificador de paquetes, que se encarga de ordenarlos de acuerdo con su ruta y perfil.

Así, el paquete tendrá un nivel de prioridad en la cola de transmisión del router acorde con la calidad de servicio solicitada. La reserva de recursos es intrínsecamente injusta, pues favorece ciertos flujos y ciertos receptores. La única manera de justificarla es cobrándola. El RSVP registra una orden del usuario para una determinada calidad de servicio, conducente a la reservación de los recursos, por lo que es posible concebir un medio de facturación basado en el ancho de banda utilizado.

11.4 Protocolo de servicios diferenciados (protocolo DiffServ)

La arquitectura de diferenciación de servicios, que está siendo normalizada actualmente por el Grupo de Trabajo DiffServ RFC2475 del IETF, sirve para modificar la manera de compartir los recursos en la red. En la Internet actual, la red trata al máximo de transportar los paquetes sin diferenciarlos. Los routers aplican el mismo tratamiento a cada paquete. El control de flujo se efectúa extremo a extremo, es decir, la red deja que los extremos se distribuyan la anchura de banda. Por tanto, cabe suponer que las conexiones TCP consumen cada una parte igual de la anchura de banda utilizada. En la arquitectura de diferenciación de servicios de anchura de banda, la tasa de pérdida de paquetes y el retardo de tránsito dependen de las operaciones de empaquetado del tráfico efectuadas a la entrada de la red y de las modificaciones hechas al comportamiento de los routers en el cuerpo de ésta. Al existir una diferenciación de servicios, en una situación de congestión es posible atribuir las pérdidas de paquete a ciertas clases de tráfico, con miras a proteger otras. No hay garantía de flujos, puesto que nunca hay un control de admisión dinámico que evite la congestión. El control de admisión se efectúa *a priori* mediante la definición de un contrato para cada clase de tráfico y dimensionamiento de recursos correspondiente, necesario para garantizarlo.

En la arquitectura de diferenciación de servicios existen dos tipos de routers.

- Los routers de borde, situados en la frontera de un dominio y encargados de conformar y clasificar el tráfico. Una de sus funciones es atribuir una etiqueta de punto de código DiffServ (DSCP) a todos los paquetes que ingresan al dominio, cuyo valor para determinado tren depende de la especificación de nivel de

servicio (SLS), que la red ha atribuido al tren, y de su comportamiento instantáneo. Cuando un paquete etiquetado ingresa en la red, utiliza el protocolo DSCP para escoger la cola y decidir cuál paquete ha de pasar en caso de congestión.

- Los routers dentro de la red, cuyo comportamiento por salto (PHB) depende del protocolo DSCP.

De este modo, para incluir un nuevo servicio en una red con diferenciación de servicios, hay que definir el comportamiento de los routers para cada DSCP y las funciones soportadas por los routers de borde. De hecho, se pueden distinguir tres aspectos de un nuevo servicio: en primer lugar éste ha de poder atribuir recursos de conformidad con el contrato establecido por cada cliente con la red, en otras palabras, debe distribuir la anchura de banda según el SLS aplicable a cada tren; en segundo lugar, tiene que respetar la prioridad atribuida a cada paquete por la fuente. Cuando el paquete arranca, esta prioridad representa el valor semántico, pero puede ser modificada por los routers de borde de red cuando se acumulen los trenes o el comportamiento de la fuente exceda los límites establecidos por el contrato. Finalmente, la atribución de recursos debe ser coherente con las diversas especificaciones de SLS, tanto en momentos de congestión como cuando la red sea subutilizada.

Por el momento, el IETF ha definido dos servicios DiffServ (es decir, dos PHB), así como los PHB «sin garantías» por defecto (DSCP 000000):

- PHB de reenvío expeditivo (EF)
- PHB de reenvío garantizado (AF).

Los paquetes marcados para que tengan un comportamiento por salto EF (DSCP 101110), reciben un servicio de reenvío que es cualitativamente mejor que el de «sin garantías». Con este fin, se garantiza que la

velocidad binaria inicial acumulada EF sea mayor o igual a su velocidad binaria de llegada. El tráfico EF suele entonces encontrar una cola que debe ser corta y que se procesa rápidamente, de manera que se mantengan bajos el tiempo de latencia, la fluctuación de fase y la pérdida de paquetes. EF puede ofrecer un servicio de tipo «línea arrendada» virtual.

El comportamiento por salto AF está destinado a servicios más generales. La especificación AF define cuatro clases y tres niveles de prioridad de rechazo (DP) que caracterizan la importancia relativa de un paquete en determinada clase cuando hay congestión. Se puede considerar cada clase como una cola separada que utiliza una determinada proporción de recursos de la red. Para cada clase se utiliza un algoritmo de gestión de cola que tiene en cuenta la prioridad de descarte del paquete. De haber congestión, el algoritmo descarta primero los paquetes menos importantes. El grado de reenvío garantizado de cada paquete en determinada clase AF depende entonces de:

- los recursos atribuidos
- la carga disponible para la clase
- la prioridad de descarte de paquete.

En el caso de flujos que utilizan el comportamiento AF, el DSCP de paquete indica la clase de paquete y su prioridad de descarte. Mientras que los paquetes en el mismo tren deben pertenecer a la misma clase para evitar que sean desordenados, pueden tener diferentes prioridades de descarte. Estas prioridades se pueden utilizar para diferenciar entre trenes o diferenciar entre información diferente dentro del mismo tren.

Tabla 13: Códigos de acceso a los servicios diferenciados AF (reenvío garantizado)

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Prioridad de rechazo baja	001010	010010	011010	100010
Prioridad de rechazo media	001100	010100	011100	100100
Prioridad de rechazo alta	001110	010110	011110	100110

11.5 Protocolo de conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS)

Además de los datos tradicionales, Internet puede transportar ahora voz y datos multimedios. Los recursos necesarios para estos nuevos servicios, es decir, velocidad y anchura de banda, han transformado la infraestructura de Internet. El crecimiento exponencial del número de usuarios y del volumen de tráfico añade otra dimensión al problema. Hay que tener en cuenta las clases de servicio (CoS) y la calidad de servicio (QoS) para satisfacer las diferentes necesidades de cada usuario de la red.

El MPLS es una solución propuesta a los problemas que presentan las redes actuales. Este protocolo surgió como una solución para organizar la combinación de la gestión de anchura de banda y necesidades de servicio en redes IP. Las soluciones del MPLS están vinculadas a la escalabilidad (ajuste a escala de red) y encaminamiento (basado en la QoS y en sus mediciones). El MPLS se puede adaptar a las redes ATM y con reenvío de tramas, y tendrá una función importante en el encaminamiento, conmutación y transferencia de paquetes en las redes de nueva generación.

Inicialmente, Internet estaba destinada a la transferencia de datos por la red, para lo cual bastaba con un simple router de software y unas interfaces de red. Cuando surgió la posibilidad de soportar transmisiones

de alta velocidad, hubo que instalar elementos capaces de conmutar al nivel 2 y 3 dentro de los equipos. Estas soluciones responden a las necesidades de transferencia rápida de paquetes a través de la red, pero no satisfacen las necesidades de servicio para la información contenida en los paquetes. Más aún, la mayoría de los protocolos utilizados hoy en día se basan en algoritmos diseñados para procurar la transferencia más rápida posible por la red, pero no tienen en cuenta otros factores, tales como los retardos o congestión, que pueden disminuir significativamente el desempeño de la red. La gestión de tráfico es un objetivo de los administradores de red.

11.5.1 Componentes del MPLS

El IETF ha normalizado el MPLS. Este protocolo cumple las siguientes funciones:

- Especifica los mecanismos para administrar flujos de tráfico de diversos tipos, tales como flujos entre diversos equipos, diferentes máquinas e incluso diferentes aplicaciones.
- Es independiente del protocolo de capa 2 y 3.
- Interactúa con los protocolos de encaminamiento existentes, tales como el RSVP (protocolo de reservación de recursos) y el OSPF (primer trayecto más corto abierto).
- Soporta las capas de nivel 2 en redes IP, ATM y con retransmisión de tramas.

En el MPLS la transmisión de datos se efectúa a través de trayectos con conmutación de etiquetas (LSP), que son una secuencia de etiquetas en cada nodo del trayecto desde la fuente hasta el destino. Los LSP pueden estar orientados al control (es decir, establecidos conforme al tipo de

transmisión de datos) o a los datos (es decir, establecidos tras la detección de cierto tipo de dato). Las etiquetas, que son identificadores específicos para el protocolo de capa inferior, se distribuyen según el protocolo de distribución de etiquetas (LDP) o el RSVP. En cada paquete se encapsulan y transportan las etiquetas durante su encaminamiento. Es posible la conmutación de alta velocidad, puesto que las etiquetas de enlace fijas son insertadas al comienzo del paquete o celda y los equipos pueden utilizarlas para efectuar una conmutación más rápida.

11.5.2 LSR y LER

Los elementos que participan en los mecanismos de protocolo MPLS pueden ser separados en los routers de borde de etiqueta (LER) y en los routers con conmutación de etiquetas (LSR). Un LSR es un router de alta velocidad dentro de una red MPLS que participa en el establecimiento de los LSP.

Un LER es un elemento que se encuentra en el borde de la red de acceso o la red MPLS. Los LER pueden soportar varios puertos conectados a diversas redes (ATM, con retransmisión de tramas o Ethernet) que reenvían tráfico por la red MPLS tras haber establecido los LSP. El LER cumple una función fundamental que consiste en asignar y suprimir etiquetas a medida que el tráfico entra y sale de la red MPLS.

11.5.3 FEC

La clase de equivalencia de retransmisión (FEC) es la representación de un grupo de paquetes que tienen las mismas necesidades de transporte. Todos los paquetes de dicho grupo reciben el mismo tratamiento durante su encaminamiento. A diferencia de las transmisiones IP convencionales, el MPLS asigna una FEC a un paquete solamente una vez, cuando entra a la red. Las FEC se basan en las necesidades de servicio de ciertos

grupos de paquetes, o incluso en un determinado prefijo de direcciones. Cada LSR construye una tabla para saber cómo ha de transmitirse un paquete. Esta tabla se denomina base de información de etiquetas.

11.5.4 Etiquetas y asociaciones de etiquetas

En su forma más simple, una etiqueta identifica el trayecto que ha de seguir un paquete. La etiqueta es transportada o encapsulada en el encabezamiento de capa 2 del paquete. El router que recibe el paquete, lo examina para establecer el siguiente salto conforme a su etiqueta. Una vez etiquetado un paquete, el resto de su camino se basa en la conmutación de etiquetas. Las etiquetas tienen valores puramente locales que pueden determinar directamente un trayecto virtual (DLCI en la retransmisión de tramas o VCI y VPI en el ATM).

Las etiquetas se asocian con una FEC teniendo en cuenta determinada lógica o política. La decisión se puede tomar basándose en los siguientes criterios: encaminamiento unidifusión al destino, gestión de tráfico, multidifusión, redes virtuales privadas (VPN) o QoS.

11.5.5 Formato básico de etiquetas MPLS

En la siguiente figura se muestra el formato genérico de una etiqueta. La etiqueta se puede colocar también en el encabezamiento de capa 2 o entre las capas 2 y 3.

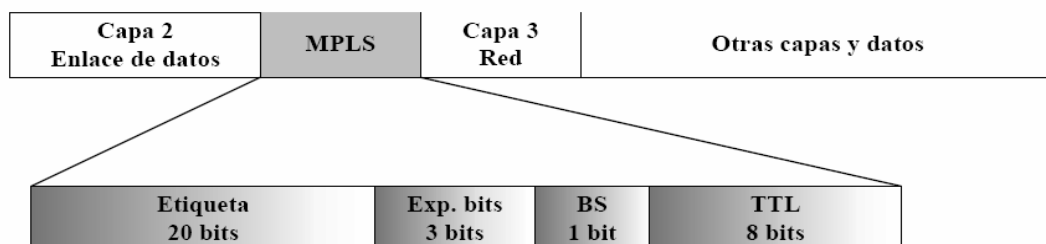


Figura 28: Formato genérico de etiqueta MPLS [6]

12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] John Q. Walker, Jeffrey T. Hicks, 2004, *“Taking Charge of Your VoIP Project”*, Cisco Press, Estados Unidos
- [2] Eduardo Serra, Consultora KPMG, 2007, *“Transmisión de voz a través de Internet (VoIP)-Descifrar y Decidir”*, KMPG Internacional
- [3] ITU-T P-801, 1996, *“Mean Opinion Score (MOS) (Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión)”*,
<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800/es>
- [4] ITU-T G.107, 2005, *“The E-model, a computational model for use in transmission planning”*, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107/e>
- [5] E-model tutorial
<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/introduction.htm>
- [6] Grupo de Expertos sobre Telefonía IP Del UIT-D, 2003, *“Informe Esencial sobre Telefonía IP”*, Estados Unidos.
- [7] Theodore Wallingford, 2005, *“Switching to VoIP”*, O'Reilly, Estados Unidos.
- [8] Bill Treneer, Consultora Global Knowledge Network Inc., 2003, *“VoIP: How to Plan for the Bandwidth and Calculate the Cost Savings”*
- [9] TIA/TSB 116-A Telecommunications - IP Telephony Equipment –, 2006 *“Voice Quality Recommendations for IP Telephony”*

- [10] Recomendación ITU-T G.113, 2001, *“Degradaciones de la transmisión debido al tratamiento de las señales vocales”*
- [11] Hernandez Sampieri, Roberto; Fernandez Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar, 1997, *“Metodología de la Investigación”*, Mc Graw Hill. México.
- [12] Kevin Brown, 2004, *“IP Telephony Unveiled”*, Cisco Press, Estados Unidos.
- [13] Presentación de Cisco, 2000, *“Getting Ready for Voice over Data”*.
- [14] Computer Associates, IT Resource Survey Results, 1997, "MERIT Project Results", www.meritproject.com/it_survey_results.htm.
- [15] Hank Lambert, 2001, "Getting Ready for Voice over Data", Cisco Systems, VoiceCon, Washington, D.C..
- [16] Tom Lancaster, 2001, "VoIP Voice Quality Often Best,", [SearchNetworking.com](http://searchnetworking.com) Networking Tips and Newsletters, http://searchnetworking.techtarget.com/tip1,289483,sid7_gci783354,00.html.
- [17] Ing. José Joscowicz, 2006, *“Redes Unificadas”*, Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
- [18] Robin Gareiss, 2005, *“A Step-by-step guide to determining the true cost and benefits of VoIP”*, Nemertes Research, <http://www.networkworld.com/research/2005/071105-voip.html?page=1>
- [19] Cisco System, 2005, *“Making the business case for IP Communications”*, White Paper, Estados Unidos.
- [20] Cisco System, 2004, *“Comunicaciones IP en Latinoamérica: Justificaciones, Cifras y Realidades”*, White Paper, Cisco System Latinoamérica.

13 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Situación de telefonía de VoIP en América Latina	6
Figura 2: Situación de telefonía de VoIP en América Latina	6
Figura 4: Switches Locales y de Tandem	13
Figura 5: PSTN conectada a través de PBX empresarial	14
Figura 6: La PSTN utiliza SS7 para señalización	16
Figura 7: Formato del paquete IP	23
Figura 8: Formato del encabezamiento RTP	27
Figura 9: Componentes típicos de una red de VoIP	30
Figura 10: Red VoIP con Gateways conectados a la PSTN	31
Figura 11 Contribución al ahorro de Costos con VoIP	44
Figura 12: Toll Bypass	46
Figura 13: Esquema de la guía de pasos	53
Figura 14: Razones por las que se produce la indisponibilidad del servicio	61
Figura 15: Todo el tráfico fluye a través de un único punto de falla	67
Figura 16: Funciones de Asterisk	80
Figura 17: Organización con dos infraestructuras para comunicaciones	83
Figura 18: Organización con redes unificadas	84
Figura 19 Distribución de llamadas DDN	103
Figura 20: Distribución de llamadas por hora	104
Figura 21: Cálculo de cantidad de líneas	105
Figura 22: Efecto de la demora en el valor de R	115
Figura 23: Efecto de la demora y el eco en el valor de R	116
Figura 24: Valor de R para los distintos codecs	118
Figura 25: Relación entre R y MOS	120
Figura 26: Modelo por percepción	122
Figura 27: Paquetes RTP y RTCP para el control de la calidad en recepción	129
Figura 28: Flujo de datos y peticiones RSVP	131
Figura 29: Formato genérico de etiqueta MPLS	138

14 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Atributos comunes de los Codec	29
Tabla 2: Características de seis Codecs más comúnmente utilizados	37
Tabla 3: Codecs con su correspondiente demora	38
Tabla 4 Ahorros de la Unificación	45
Tabla 5: “Nueves” de confiabilidad con sus correspondientes tiempos de caídas	60
Tabla 6 Detalle de llamadas telefónicas	102
Tabla 7 Cálculo BHT	104
Tabla 8 Costos de ambas soluciones	107
Tabla 9 Detalle de materiales para cableado	108
Tabla 10: Valores típicos de A para diferentes tecnologías	119
Tabla 11 : Protocolo de transporte en tiempo real	127
Tabla 12: Tipos de paquetes RTCP	128
Tabla 13: Códigos de acceso a los servicios diferenciados AF (reenvío garantizado)	135