



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica

MODELOS DE TRÁFICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE REDES DE VoIP

Rogelio Antonio Escobedo Mendoza
Asesorado por el Ing. Romeo Neftalí López Orozco

Guatemala, agosto de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODELOS DE TRÁFICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO
DE REDES DE VoIP**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROGELIO ANTONIO ESCOBEDO MENDOZA

ASESORADO POR EL ING. ROMEO NEFTALI LÓPEZ OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Roberto Mayorga Rouge |
| EXAMINADOR | Ing. Julio Cesar Solares Peñate |
| EXAMINADOR | Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo |
| EXAMINADOR | Ing. Juan Fernando Morales Mazariegos |
| SECRETARIO | Ing. Rene Andrino Guzmán |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MODELOS DE TRÁFICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE REDES DE VoIP,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 6 de marzo de 2007.

Rogelio Antonio Escobedo Mendoza

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

MIS PADRES

Jose Antonio Escobedo Guillen (†)
Gilbertina Mendoza Guillen de Escobedo (†)

MI ESPOSA

Bertha Graciela Barrondo Prera de Escobedo

MIS HIJOS

Astrid Odete Escobedo Barrondo
Leslie Karina Escobedo Barrondo
Bertha Graciela Escobedo Barrondo
Rogelio Antonio Escobedo Barrondo

MI YERNO

Luis Eduardo Duran Córdoba

MI NIETO

Luis Eduardo Duran Escobedo

MI UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

MI FACULTAD

INGENIERIA

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE ILUSTRACIONES | III |
| GLOSARIO | V |
| RESUMEN | VI |
| OBJETIVOS | IX |
| INTRODUCCIÓN | XI |
| | |
| 1. REDES TRADICIONALES DE TELEFONÍA | 1 |
| 1.1 Redes de Conmutación de Circuitos..... | 1 |
| 1.2 Señalización en Redes de Conmutación de Circuitos..... | 1 |
| 1.2.1 Funciones de Señalización..... | 1 |
| 1.2.2 Señalización por canal común..... | 3 |
| 1.2.3 El protocolo SS7..... | 7 |
| 1.3 Modelos de Tráfico de Redes de Conmutación de Circuitos..... | 10 |
| 1.4 Dimensionamiento a partir de los Modelos de Tráfico..... | 11 |
| 1.4.1 Modelo de costos..... | 11 |
| 1.4.2 Modelo del cálculo del radio celular..... | 15 |
| 1.4.3 Modelo del despliegue celular..... | 20 |
| 1.4.4 Selección de la Estación Base adecuada..... | 22 |
| 1.4.4.1 Ordenación en función del máximo radio de Cobertura..... | 22 |
| 1.4.4.2 Ordenación en función del costo..... | 23 |
| 1.4.5 Despliegue celular básico..... | 23 |
| 1.4.6 Reducción del radio celular..... | 26 |
| 1.4.7 Celular paraguas para el tráfico desbordado..... | 26 |
| 1.4.8 Modelo de la red GSM..... | 29 |
| 1.4.8.1 Modelos de proyección de los BCS's..... | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 1.4.8.2 Modelo de proyección de MSC's..... | 32 |
| 2. VoIP..... | 35 |
| 2.1 Redes de conmutación de paquetes..... | 35 |
| 2.1.1 Red clásica de conmutación de paquetes X.25..... | 44 |
| 2.1.2 Modelo de paquete X.25..... | 47 |
| 2.2 Redes de IP..... | 47 |
| 2.2.1 Infraestructura de la red de área local LAN..... | 50 |
| 2.2.2 Interconexión de LANs en una arquitectura basada en IP..... | 54 |
| 2.2.3 La Suite del Protocolo Internet..... | 55 |
| 2.2.4 El Protocolo Internet..... | 55 |
| 2.2.5 El Protocolo de Transporte..... | 56 |
| 2.3 Telefonía y voz sobre IP..... | 57 |
| 2.3.1 Ventajas de la Tecnología VoIP..... | 57 |
| 3. MODELOS DE TRÁFICO DE VOZ PAQUETIZADA..... | 59 |
| 3.1 Caracterización del tráfico de voz..... | 59 |
| 3.1.1 Direccionamiento..... | 59 |
| 3.1.2 Señalización..... | 59 |
| 3.1.3 Compresión de voz..... | 59 |
| 3.1.4 Transmisión de voz..... | 60 |
| 3.1.5 Control de transmisión..... | 60 |
| 3.2 Protocolos de control de VoIP..... | 63 |
| CONCLUSIONES..... | 65 |
| RECOMENDACIONES..... | 67 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 69 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Modo Asociado | 6 |
| 2 | Modo no Asociado | 8 |
| 3 | Plano de Control | 10 |
| 4 | Plano de información | 10 |
| 5 | Modelo de cálculo Top-Down | 16 |
| 6 | Modelo de cálculo Bottom-Up | 17 |
| 7 | Diagrama de estados del modelo de tráfico | 18 |
| 8 | Esquema de la utilización de células paraguas | 23 |
| 9 | Representación del número de cruces en una célula | 27 |
| 10 | Modelo de cluster jerárquico MSC-BSC-BTS | 37 |
| 11 | Sistema de conmutación FDM | 41 |
| 12 | Multicanalización TDM | 44 |
| 13 | Transferencia orientada a la conexión | 48 |
| 14 | Red de circuitos conmutados | 53 |
| 15 | Red de conmutación de paquetes | 54 |
| 16 | La topología de Bus | 58 |
| 17 | La topología de anillo | 58 |
| 18 | La topología de estrella | 60 |
| 19 | Pila de protocolos en VoIP | 66 |
| 20 | Elementos de una red VoIP | 68 |

GLOSARIO

| | |
|-------------------------|---|
| Multicanalizador | (MUX) Dispositivo de telecomunicaciones que tiene como entrada muchos canales de información y que los combina para transmitirlos sobre en un solo canal de comunicaciones. |
| E1 | Es un estándar de la ITU que soporta una tasa de transmisión de 2.048 Mbps. |
| TDM | (Time Division Multiplexing) Multicanalización por división de frecuencias. |
| FDM | (Frequency Division Multiplexing) Multicanalización por división de tiempo. |
| Célula Paraguas | Utilizada para dar servicio al tráfico desbordado de las células principales. Su área de cobertura es mayor, por lo que puede cubrir varias células. |
| Nodo | Cualquier tipo de dispositivo de red como un ordenador personal. |

RESUMEN

Actualmente el Internet se ha convertido en uno de los factores más importantes de comunicación, ya que ha nacido de la necesidad de comunicación de los sistemas de cómputo. Lo cual llevó a un desarrollo de las redes basadas en IP donde se tomó en consideración parámetros que permitieran un adecuado control extremo a extremo de todas las variables que exige una comunicación en tiempo real, como lo es el servicio telefónico.

Los sistemas tradicionales de telefonía han ido evolucionando paulatinamente, desde los sistemas con conmutaciones manuales a través de operadores, seguido por sistemas electromecánicos, sistemas electrónicos analógicos y finalmente sistemas digitales, el cual nos lleva a los sistemas convergentes los cuales son los que nos llevan a las aplicaciones de el protocolo IP. En todos estos se ha pretendido resolver diversos problemas que se presentan en el proceso de transmisión de cualquier tipo de información en un sistema de redes y en particular en la transmisión a distancia de la voz.

En cuanto se da la necesidad de resolver estos problemas, se le da paso a una comunicación punto a punto, a una red multipunto a multipunto, al configurar redes con acceso universal, en donde cualquier usuario de estas debe de poder alcanzar a cualquier otro usuario.

Las redes de comunicaciones en general proveen la infraestructura que transporta la información entre puntos remotos. En contraste con las redes tradicionales de voz, los sistemas de cómputo plantearon la necesidad de que dichos sistemas pudieran compartir información e interactuar entre ellos mismos.

OBJETIVOS

- **General**

Implementar los conceptos de Redes tradicionales de voz para el diseño de redes mejoradas basadas en el protocolo de Internet (IP).

- **Específicos**

1. Conocer los diferentes modelos de redes de conmutación de paquetes.
2. Repasar los conceptos del protocolo Internet.
3. Implementar los conceptos de direccionamiento de tráfico de voz para el diseño de redes basadas en IP.

INTRODUCCIÓN

La tecnología moderna ha permitido que los sectores de telecomunicaciones, datos, radio y televisión se fusionaran en uno solo sistema: La telefonía IP. La telefonía IP conjuga dos mundos históricamente separados, como lo son, la transmisión de voz y la de datos. Se ha tratado de transportar la voz en redes de datos, lo cual nos permite efectuar llamadas telefónicas en la red de datos.

Las soluciones de redes basadas en IP son sustitutos flexibles y económicos para soluciones que utilizan tecnologías de red antiguas. Las diversas propiedades entre estas tecnologías consisten en como se presenta, gestiona y transmite la información.

El concepto original era de transformar la voz en paquetes de información manejables por una red IP. La voz puede ser obtenida desde un micrófono conectado a la placa de sonido de la PC o bien desde un teléfono común y direccionarla por medio de un servidor a otro teléfono y sostener conversaciones teléfono a teléfono.

1. REDES TRADICIONALES DE TELEFONÍA

1.1. Redes de conmutación de circuitos

La conmutación de circuitos es un tipo de comunicación que establece o crea un canal dedicado (o circuito) durante la duración de una sesión. Después que es terminada la sesión, como una llamada telefónica, se libera el canal y éste podrá ser usado por otro par de usuarios. El ejemplo más típico de este tipo de redes es el sistema telefónico el cual enlaza segmentos de cable para crear un circuito o trayectoria única durante la duración de una llamada o sesión.

Los sistemas de conmutación de circuitos son ideales para comunicaciones que requieren que los datos o información puedan ser transmitidos en tiempo real.

1.2. Señalización en redes de conmutación de circuitos

En las redes de conmutación de circuitos las señales de control son el medio para gestionar la red y para establecer, mantener y finalizar las llamadas, intercambiando información entre el abonado y los conmutadores, entre los conmutadores entre sí y entre los conmutadores y el centro de gestión de red.

1.2.1. Funciones de señalización

Las funciones más importantes son:

- Comunicación audible con el abonado, que incluye el tono de marcar, el tono de llamada, la señal de ocupado etc.

- Transmisión del número marcado a las centrales de conmutación que intentarán establecer la conexión.
- Transmisión de información entre conmutadores indicando que una llamada dada no se puede establecer.
- Transmisión de información entre conmutadores indicando que una llamada ha finalizado y que la ruta puede desconectarse.
- Generación de la señal que hace que el teléfono suene.
- Transmisión de información con fines de tarificación.
- Transmisión de información indicando el estado de los equipos, las líneas para emplear en el encaminamiento, mantenimiento y diagnóstico de fallos
- Control de equipos especiales para canales vía satélite

La señalización se puede agrupar en cuatro categorías

1. **Señales de supervisión** para referirnos a señales de control de carácter binario, tales como solicitud de servicio, respuesta, aviso y retorno a desocupado. Estas señales se encargan de informar acerca de la disponibilidad del abonado llamado y de los recursos de la red necesarios.
2. **Las señales de direccionamiento** identifican al abonado. Inicialmente se genera una señal de dirección por parte de un abonado origen cuando marca un número de teléfono. La dirección resultante se puede propagar a través de la red para permitir el encaminamiento y así localizar y hacer que suene el teléfono del abonado destino.

3. **Las señales de información sobre la llamada** proporcionan al abonado información acerca del estado de la llamada y son señales audibles y se emplean para el establecimiento y cierre de la llamada.
4. **Las señales de gestión de red** se utilizan para el mantenimiento y funcionamiento general de la red. Estas señales pueden tener forma de mensajes como por ejemplo una lista de rutas predefinidas enviadas a una estación para la actualización de sus tablas de encaminamiento.

1.2.2. Señalización por canal común

La señalización de control tradicional en redes de conmutación de circuitos se ha realizado a través de la propia línea principal o intracanal. En la técnica de señalización intracanal se usa el mismo canal para las señales de control y la llamada propiamente dicha. Esta señalización comienza en el abonado origen y sigue la misma ruta que la llamada. Existen dos formas de señalización intracanal:

- **Intrabanda** en donde se usa la misma banda de frecuencias que las señales de voz que se transmiten, con la ventaja de que las señales de control tienen las mismas propiedades electromagnéticas que las señales de voz, pudiendo llegar a los mismos lugares que éstas.
- **Fuera de banda** en donde se aprovecha el hecho de que las señales de voz no utilizan todo el ancho de banda de 4 Khz. asignado, y se hace uso de una banda de señalización estrecha e independiente para el envío de señales de

control, con la ventaja de que estas señales, se pueden enviar también cuando no hay voz en el canal, lo que permite la supervisión y el control continuos de la llamada.

La señalización intrabanda tiene una serie de desventajas para las actuales redes de telecomunicaciones públicas, como son:

- a. La velocidad de transferencia de información se encuentra bastante limitada.
- b. Un canal de voz en uso sólo puede ser utilizado por las señales de control cuando no hay señales de voz en el circuito.

La señalización fuera de banda tiene como desventaja:

- a. El pequeño ancho de banda.
- b. Es difícil transmitir a tiempo los mensajes de control.

Otra desventaja de la señalización intracanal es el retardo existente desde que un abonado introduce una dirección (marca el número) hasta que la conexión se establece. Hay que reducir este retardo para las nuevas aplicaciones controladas por computador,

en donde las transacciones son mensajes cortos y el tiempo de establecimiento de llamada representa una parte importante del tiempo de la transacción total.

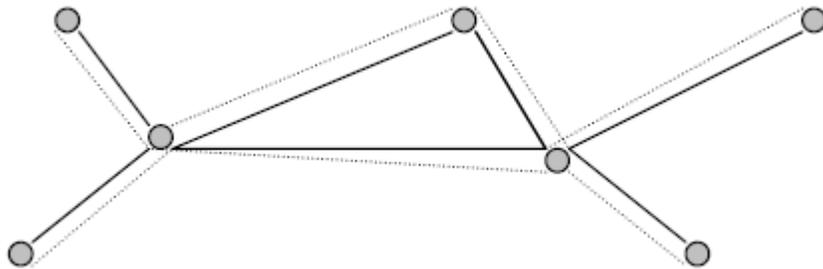
Estas desventajas se pueden evitar mediante la **señalización por canal común** en donde las señales de control se transmiten por rutas completamente independientes de los canales de voz,

pudiendo agruparse las señales de control de varios canales de voz en un canal común. Las señales de control son mensajes que se transfieren entre los conmutadores y entre el conmutador y el centro de gestión de red. De este modo la señalización de control de red es una red distribuida de computadores que se especializan en el transporte de mensajes cortos de control.

Hay dos modos de funcionamiento en la señalización por canal común:

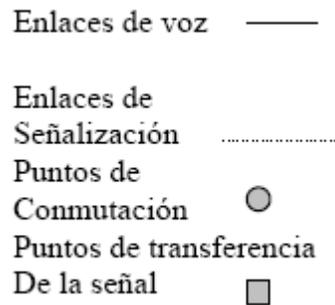
1. Modo asociado en donde el canal común va en paralelo (asociado) a lo largo de toda la línea a los grupos de enlace entre conmutadores. Las señales de control van en canales diferentes a las señales de abonado y dentro de un mismo conmutador las señales de control se encaminan hacia un procesador de señales de control.

Figura 1. Modelo asociado.



Fuente: David Contaner, **Conmutación de Circuitos**, página 66.

En donde se tiene que:

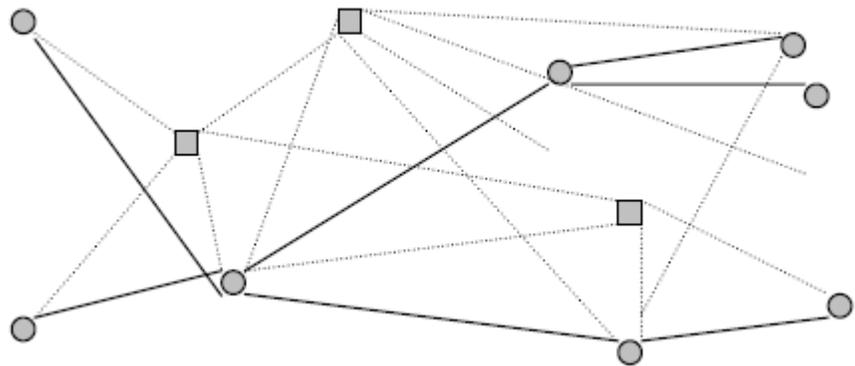


2. Modo no asociado que es más potente pero más complejo. En este modo se hace crecer la red añadiendo puntos de conmutación especializados llamados puntos de transferencia de la señal. En este caso no existe una asignación o correspondencia ni definitiva ni sencilla entre los canales de control y los grupos de enlace y como consecuencia existen dos redes separadas con enlaces entre ellas. Con esta configuración de red se puede establecer uno o más puntos centrales de control y puede haber un punto que haga de nodo central con una visión global del estado de la red.

En la señalización por canal común las señales de control se transfieren directamente desde un procesador al siguiente sin ser asociados a un canal de voz, lo que hace que sea menos susceptible a las interferencias entre la señal de abonado y la de control. En la señalización por canal común se reduce el retardo de establecimiento de llamada. A pesar de la mayor complejidad de la técnica de señalización por canal común, la reducción de costos en el hardware digital y el creciente carácter digital de las redes

de telecomunicaciones hacen que esta técnica sea la adecuada. No obstante siempre será necesaria la señalización intracanal para la comunicación con el abonado (tono de marcar, señal de indicación de llamada y señal de ocupación). El esquema de señalización por canal común más usado es el Sistema de señalización Número 7 (SS7 Signaling System number 7) que proporciona el control interno y la inteligencia esenciales a una RDSI.

Figura 2. Modo no asociado.



Fuente: David Contaner, **Conmutación de Circuitos**, página 66.

1.2.3. El protocolo SS7

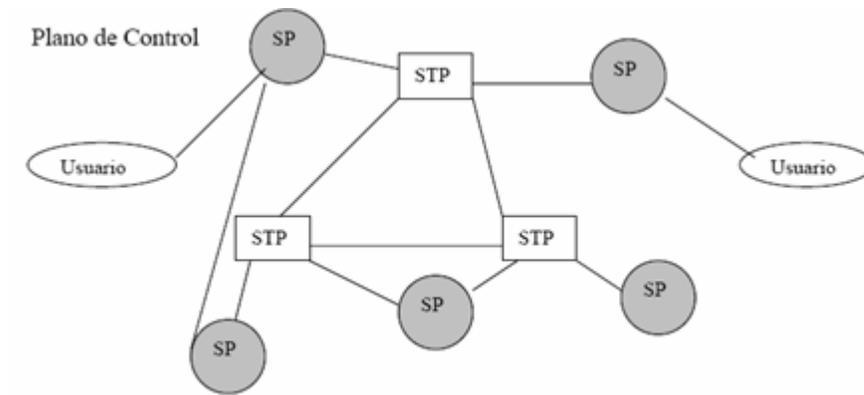
En SS7 los mensajes de control se encaminan a través de la red para llevar a cabo la gestión de las llamadas (establecimiento, mantenimiento y terminación) y las funciones relativas a la gestión de red. Estos mensajes son bloques o paquetes pequeños que se pueden encaminar a través de la red de modo que aunque la red que está siendo controlada es una red de conmutación de

circuitos, la señalización de control se basa en la tecnología de conmutación de paquetes.

Elementos de la red de señalización:

- a.** Punto de señalización (SP) es un nodo de la red de señalización con capacidad de gestión de mensajes de control SS7. Un ejemplo puede ser un receptor de mensajes de control incapaz de procesar mensajes que no vayan destinados directamente a él, o un centro de control de red.
- b.** Un punto de transferencia de la señal (STP) es un punto de señalización capaz de encaminar mensajes de control; es decir, un mensaje recibido sobre un enlace de señalización se transfiere a otro enlace. Un ejemplo podría ser un nodo de encaminamiento puro, pudiendo realizar las funciones propias de un punto final (origen/destino) de comunicaciones.
- c.** Un enlace de señalización es un enlace de datos que conecta entre sí puntos de señalización.

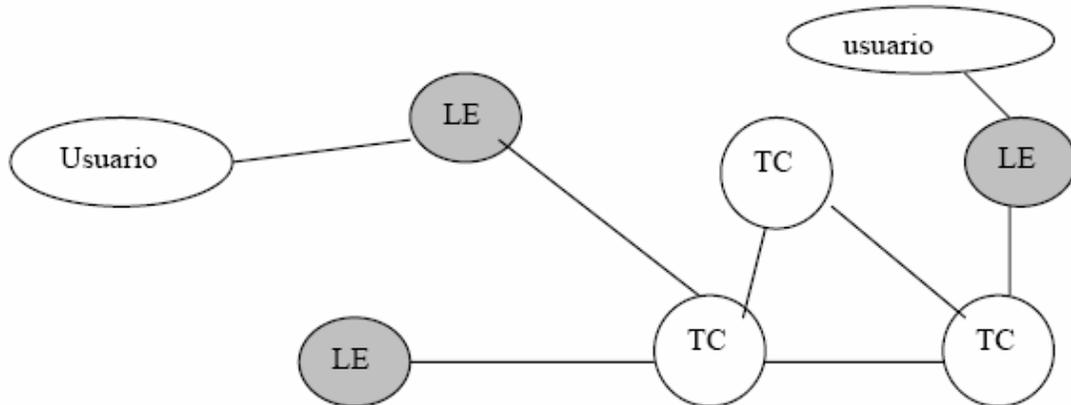
Figura 3. Plano de control.



Fuente: David Contaner, **Comutación de Circuitos**, página 67.

Figura 4. Plano de información.

Plano de Información



TC = Centro de Tránsito LE = Central o Conmutador local

Fuente: David Contaner, **Comutación de Circuitos**, página 67.

El plano de control es el responsable del establecimiento y de la gestión de las conexiones, las cuales se solicitan por el usuario. El diálogo entre el usuario y la red se realiza entre el usuario y el conmutador local. Con este fin el conmutador local funciona como un punto de señalización ya que debe de llevar a cabo la conversión entre el diálogo con el usuario y los mensajes de control internos a la red, que son los que realmente realizan las acciones solicitadas por el usuario (SS7). El protocolo SS7 se usa

internamente a la red para establecer y mantener una conexión dada; este proceso debe de involucrar uno o más puntos de señalización y de transferencia de señal. Una vez se ha establecido la conexión, la información se transfiere desde un usuario hasta el otro, extremo a extremo, en el plano de información. Para ello se establece un circuito desde el conmutador local de un usuario hasta el otro, habiéndose realizado quizás el encaminamiento a través de uno o más nodos de conmutación de circuitos denominados centros de tránsito. Todos estos nodos (conmutadores locales, centros de tránsito) son también puntos de señalización, ya que son capaces de enviar y recibir mensajes SS7 para establecer y gestionar la conexión.

1.3. Modelos de tráfico de redes de conmutación de circuitos

El modelo de tráfico para comunicaciones de datos depende fundamentalmente de la aplicación. Hay dos grupos principales de modelos de tráfico:

- Aplicaciones Interactivas (preguntas – respuestas)

- Aplicaciones batch (transmisión unidireccional de grandes ficheros de datos)

La primera aplicación requiere una respuesta rápida en el tiempo (o un tiempo de set-up si se establece una conexión por cada sesión). En los 60, la red telefónica de circuitos conmutados se utilizaba para el tráfico de datos, lo que significaba que los usuarios (en la mayoría empresas) tenían que alquilar conexiones establecidas permanentemente que pudieran cumplir sus requisitos de tiempo respuesta. Esta es una solución nada económica cuando la transmisión de datos no continuos y, por lo tanto, el ancho de banda es subutilizado.

La segunda aplicación se desarrolló para permitir al usuario ocupar un canal de red, únicamente durante el proceso de transferencia.

1.4. Dimensionamiento a partir de los modelos de trafico

1.4.1. Modelo de costos

Como se puede deducir, el establecimiento de las diversas tarifas constituye un elemento de confrontación entre los diversos integrantes del mercado de las telecomunicaciones (Operadores de red, proveedores de servicios, consultorías de telecomunicaciones).

La resolución de estos conflictos implica el establecimiento de precios y tarifas orientadas a costos, es decir, que el precio de un determinado servicio sea fiel reflejo del costo de su realización, con los correspondientes márgenes de beneficios. Los métodos y modelos para establecer estos costos son los mecanismos de los que disponen los diversos integrantes del mercado para poder justificar sus precios y sus decisiones, siempre en su propio

beneficio. De lo anterior se deduce la obligatoria necesidad de disponer de modelos de costos efectivos para poder realizar la toma de decisiones estratégicas acertadas que conduzcan a un mercado eficiente y, por lo tanto, al progreso del sector.

La evolución en el conocimiento de las redes de telecomunicaciones y los procedimientos de contabilidad han producido diversos modelos de costos. Entre los principales encontramos:

1. Fully Allocated Costs (FAC): utilizado principalmente en mercados de monopolio. Se basa en el estudio de la contabilidad financiera del operador de telecomunicaciones y, por lo tanto, considera los costos históricos de la red. Asigna los costos totales a los servicios y tiene un alto grado de arbitrariedad.
2. Activity Based Costs (ABC): es una modificación del FAC que toma en cuenta las actividades de la empresa, y por lo tanto reduce su arbitrariedad.
3. Current Cost Accounting (CCA): estima el costo de reemplazar la infraestructura de red existente por la tecnología actual con los precios de mercado, considerando costos corrientes en vez de históricos. Su desventaja es que no establece directivas para el proceso de asignación de los costos.
4. Short-Long Run Marginal Accounting (SRMA y LRMA): aplicable principalmente a los servicios que dependen de la capacidad de la red. El modelo Short Run, o corto plazo, no considera variaciones en la inversión, por lo que se debe aplicar a servicios que varían en plazos temporales. El

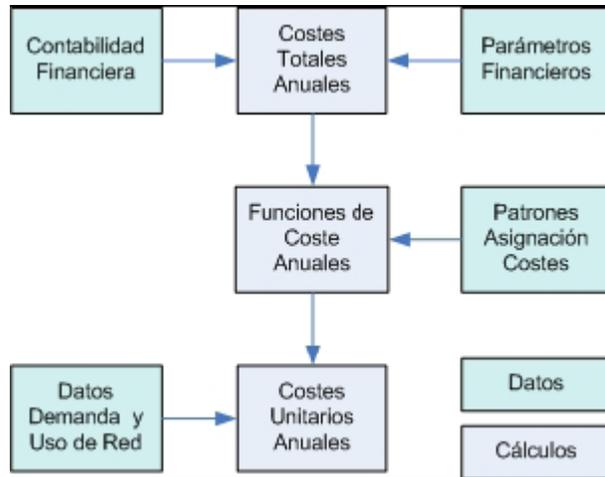
modelo Long Run si considera variaciones de la inversión en elementos de red.

5. Long Run Incremental Cost (LRIC): el modelo de costos incrementales a largo plazo no se dirige a la siguiente unidad del servicio como el LRMA sino que considera los incrementos del servicio con el fin de amortiguar picos de costo por la adquisición de nuevos equipos y aprovechar las economías de escala. Tiene dos vertientes, Total Element LRIC (TELRIC), basado en los elementos de red y que fue desarrollado por la FCC de Estados Unidos, y Total Service LRIC, que considera cada servicio en su conjunto como el factor de incremento.

Esta última metodología, LRIC, ha sido recomendada por La Comisión Europea para determinar los costos de los operadores dominantes. Sin embargo, dentro de estas metodologías se aprecian dos perspectivas contrapuestas que se orientan a asegurar que los precios o tarifas se encuentran orientados a los costos.

6. Top-Down: se parte de la información financiera contable de la empresa. En primer lugar se contabiliza el conjunto de la red y en segundo lugar se asignan los costos a los correspondientes elementos de red.

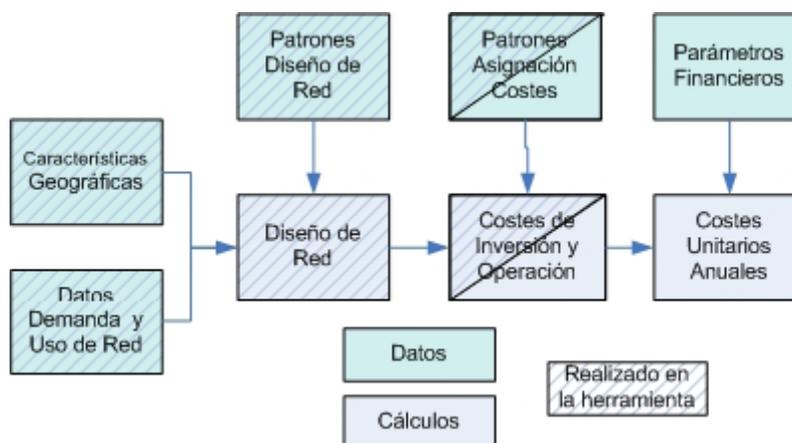
Figura 5. Modelo de cálculo Top-Down.



Fuente: Glasgow, **Application of long-run Incremental Costing (LRIC) Principles to Mobile Networks Analysis Expertise and Key Issues**, página 125.

7. Bottom-Up: se basa en la demanda de tráfico, en el diseño de red y en los costos unitarios. Partiendo de un diseño de red, se realiza la asignación de costos de cada elemento individualmente. La figura siguiente muestra un esquema de aplicación de este método.

Figura 6. Modelo de cálculo Bottom-Up.



Fuente: Glasgow, **Application of long-run Incremental Costing (LRIC) Principles to Mobile Networks Analysis Expertise and Key Issues**, página 128.

La información financiera contable se basa en los costos históricos, por lo que las aproximaciones Top-Down no reflejan completamente la situación actual, con lo que no se puede establecer una referencia objetiva para estudiar los precios y tarifas de los servicios de telecomunicaciones.

1.4.2 Modelo del cálculo del radio celular

El estudio del radio celular proporciona la información relativa a la cobertura radioeléctrica de una determinada Estación Base.

La predicción de la cobertura y el cálculo del radio celular es el núcleo de la actividad de diseño y planificación. En este punto se plantean los balances energéticos de los enlaces y se utilizan los

modelos de propagación para la predicción de la pérdida básica en la célula y, en consecuencia, de la cobertura.

Para analizar el tráfico en una célula GSM se deben considerar principalmente dos aspectos. En primer lugar se debe estudiar un modelo de movilidad que permita representar el movimiento de los usuarios dentro de una célula, y en segundo lugar, se debe obtener el tráfico de usuario en una célula con traspasos y, a su vez, calcular las probabilidades de bloqueo/pérdida resultantes. El tratamiento de la movilidad debe incluir las acciones inherentes a su función, es decir, la conexión y desconexión, la actualización de la posición y los avisos, ya que todas ellas repercuten en el dimensionamiento de los canales de control y en los traspasos de llamadas, los cuales inciden en el dimensionamiento de los canales de tráfico.

Este modelo permite el uso de distintas densidades de población en función del escenario que se desee cubrir. Cada ciudad genérica presenta características relativas al tipo de ciudad (grande, mediana o pequeña), a la distribución de la densidad de usuarios, y a la concentración de edificios (alta o baja) con su altura media correspondiente.

El tiempo de ocupación de un canal es un valor muy importante en el cálculo de las probabilidades de bloqueo.

Se supone que al originar una llamada en una célula y conseguir un canal, la llamada mantiene el canal hasta que se finaliza o el móvil se traslada a otra célula. Por lo tanto, el tiempo de ocupación

del canal en una célula (T_{ocup}) es el tiempo de duración de la llamada, o bien, el tiempo de residencia del móvil en la célula.

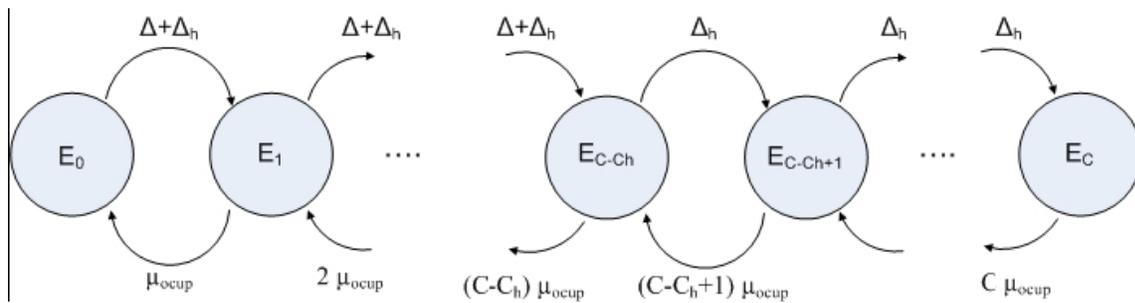
Una llamada generada en una determinada célula puede concluir en esta célula o ser objeto de traspaso a otra u otras células. Toda llamada puede finalizar porque concluye su tiempo de duración o porque hay un fallo de traspaso. Para atacar este inconveniente, puede contemplarse la posibilidad de destinar canales de las células para atender exclusivamente a llamadas de traspaso, ya que, desde un punto de vista subjetivo, es más molesto que se corte una comunicación que ya se está realizando, a que simplemente no se pueda realizar una nueva llamada.

Se considera entonces una Estación Base que dispone de C canales, o slots, de los cuales C_h se encuentran reservados únicamente para la realización de traspasos, mientras que los $C - C_h$ restantes pueden ser ocupados o bien por llamadas nuevas en la célula o bien por llamadas traspasadas. A partir de ello se obtienen distintas probabilidades de bloqueo para las llamadas nuevas y para las traspasadas. En la realización de este cálculo de probabilidades se supone una estructura celular uniforme en la que los valores de las tasas de llegadas de llamadas y tiempos medios de referencia son iguales para todas las células. Así mismo, se asume que los procesos de aparición de llamadas, tanto nuevas como traspasadas, son Poissonianos.

Definiendo el estado E_j de una célula de tal manera que existan j llamadas en progreso en la célula en ese instante, se puede definir también P_j , que es la probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado E_j . De acuerdo con el diagrama de estados de la

figura siguiente se pueden plantear las ecuaciones de todos los estados, donde Λ y Λ_h son las tasas totales de llegada de llamadas nuevas y de llamadas traspasadas respectivamente, y μ_{ocup} es el tiempo de ocupación de un canal en una célula.

Figura 7. Diagrama de estados del modelo de tráfico.



Fuente: D. Hong y S.S.Rappaport, **Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures**, página 198.

$$P_j = \begin{cases} \frac{\Lambda + \Lambda_h}{\mu_{ocup}} \cdot P_{j-1} & j = 1, 2, \dots, C - C_h \\ \frac{\Lambda_h}{\mu_{ocup}} \cdot P_{j-1} & j = C - C_h + 1, \dots, C \end{cases}$$

Con la condición normalizada de que la suma de las probabilidades de todos los estados debe ser la unidad, se obtiene la distribución de probabilidad:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C-C_h} \frac{(\Lambda + \Lambda_h)^k}{k! \cdot \mu_{ocup}^k} + \sum_{k=C-C_h+1}^C \frac{(\Lambda + \Lambda_h)^{C-C_h} \cdot \Lambda_h^{k-(C-C_h)}}{k! \cdot \mu_{ocup}^k} \right]^{-1}$$

$$P_j = \begin{cases} \frac{(\Lambda + \Lambda_h)^j}{j! \cdot \mu_{ocup}^j} \cdot P_0 & j = 1, 2, \dots, C - C_h \\ \frac{(\Lambda + \Lambda_h)^{C-C_h} \cdot \Lambda_h^{j-(C-C_h)}}{j! \cdot \mu_{ocup}^j} \cdot P_0 & j = C - C_h + 1, \dots, C \end{cases}$$

La probabilidad de bloqueo para una llamada es la suma de las probabilidades de que el estado de la estación base sea igual o mayor que $C-C_h$. Y la probabilidad de fallo en el traspaso, es decir, que las llamadas traspasadas queden bloqueadas, se corresponde con la probabilidad del estado C .

A partir de dos de los aspectos primordiales del diseño de la red, la existencia de cobertura y la disponibilidad de recursos, se establece un primer grado de calidad de servicio denominado Grado de Servicio (GoS, Grade of Service), que es la probabilidad porcentual de que no pueda iniciarse una llamada, sea por falta de cobertura o por carencia de canales.

Finalmente, el valor del tráfico cursado por una célula, conformado tanto por el tráfico inicial como por el de traspaso es:

$$A_c = \Lambda \cdot T_{ocup} \cdot (1 - p_b) + \Lambda_h \cdot T_{ocup} \cdot (1 - p_{fh})$$

Y el tráfico desbordado de dicha célula:

$$A_p = \Lambda \cdot T_{ocup} \cdot p_b + \Lambda_h \cdot T_{ocup} \cdot p_{f_h}$$

En resumen, se ha obtenido el radio celular en función de sus características de propagación radio y se ha realizado un estudio de tráfico para la estación base, comprobando si cumple con el grado de servicio requerido.

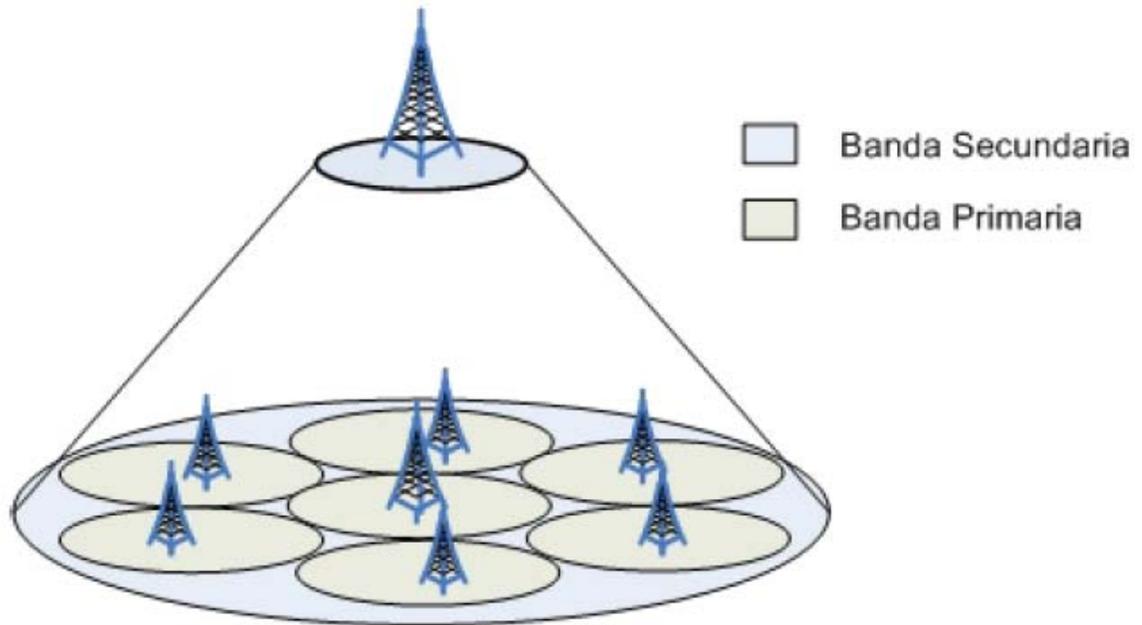
En caso negativo se deben establecer una serie de medidas en función de la banda de frecuencias sobre la que se esté trabajando.

1.4.3 Modelo del despliegue celular

Los operadores de telefonía móvil tienen asignadas por licencia administrativa una o dos bandas de frecuencias, es decir, 900 MHz, 1800 MHz o ambas. Si disponen de dos bandas distintas, utilizan una de ellas para el despliegue celular inicial, y emplean la segunda para cubrir aquellas zonas en las que la capacidad de las Estaciones Base asignadas no es suficiente para cumplir con el Grado de Servicio requerido.

Este modelo considera ambas bandas, ya que permite trabajar en cualquiera de ellas, e incluso, deja seleccionar que banda se quiere utilizar para el tráfico desbordado en el caso de trabajar con dos distintas. Por lo general, el modelo realiza la planificación básica en la banda de 900 MHz y utiliza la de 1800 MHz para el tráfico desbordado porque la primera presenta características de propagación radio mejores que la de 1800 MHz.

Figura 8. Esquema de la utilización de células paraguas para el tráfico desbordado.



Fuente: G. Parames, **Dimensionado de Redes Móviles de Segunda Generación y su Aplicación en Modelos de Costos**, página 231.

Con objeto de ahorrar costos de infraestructura, las BTS's de la segunda banda se sitúan en el mismo emplazamiento que una BTS del despliegue original. Debido a ello, al tratar con Estaciones Base de mayor radio celular, se consigue proporcionar servicio tanto al tráfico desbordado por la célula de su misma posición, como a parte (o a la totalidad) del tráfico desbordado por las células vecinas.

1.4.4 Selección de la Estación Base adecuada

Uno de los puntos de mayor importancia en la realización de esta herramienta se centra en la elección de la Estación Base mas adecuada en función de las condiciones de propagación, de tráfico, y del tipo de despliegue que se desee realizar. Para ello, se dispone de un listado de los diversos tipos de BTS's disponibles con sus correspondientes parámetros. Los parámetros requeridos para cada Estación Base son: Nombre y modelo de la Estación Base, no de canales (máximos admitidos, reservados para handover, de señalización), potencia de transmisión, pérdidas (cables, combinador, multiacoplador de la antena), figura de ruido total del receptor, ganancias (preamplificador, antena receptora con diversidad en recepción, antena transmisora para los diversos casos), grado mínimo de sectorización, grado máximo de sectorización y costo o factor de prioridad. A excepción del costo, todos los parámetros se utilizan en la obtención del radio celular y la probabilidad de bloqueo.

El proceso para obtener la BTS mas adecuada para el despliegue en una zona consiste en realizar una clasificación de las BTS's disponibles en función de si cumplen, o no, el Grado de Servicio. Llegando a este punto se permite la realización de dos métodos de ordenación distintos: en función del máximo radio de cobertura y en función del costo.

1.4.4.1 Ordenación en función del máximo radio de cobertura

En este método, las BTS's que cumplen el Grado de Servicio se clasifican en orden decreciente en función de su

radio de cobertura. De esta forma se selecciona aquella BTS que proporciona servicio a un área mayor, y que en consecuencia, en el despliegue celular, asegura un menor número de unidades para cubrir toda el área estudiada.

1.4.4.2 Ordenación en función del costo

Este método de ordenación considera más relevante el costo de la BTS que el radio de cobertura que proporciona.

Este costo puede ser el costo unitario de la Estación Base (en moneda corriente), o un factor de preferencia a la hora de realizar el despliegue celular. Las Estaciones Base que cumplen el Grado de Servicio se ordenan en función de su costo total en orden creciente.

1.4.5 Despliegue celular básico

El despliegue permite decantarse por la utilización de células omnidireccionales, forzando su utilización si así se requiere, aunque si ninguna BTS's cumple con el Grado de Servicio se debe recurrir al procedimiento de la sectorización de la Estación Base. Con este proceso se obtienen mejores resultados en términos de GoS para cada BTS.

La sectorización afecta al cálculo del radio celular en dos parámetros:

1. MT (Número de móviles presentes en el sector):

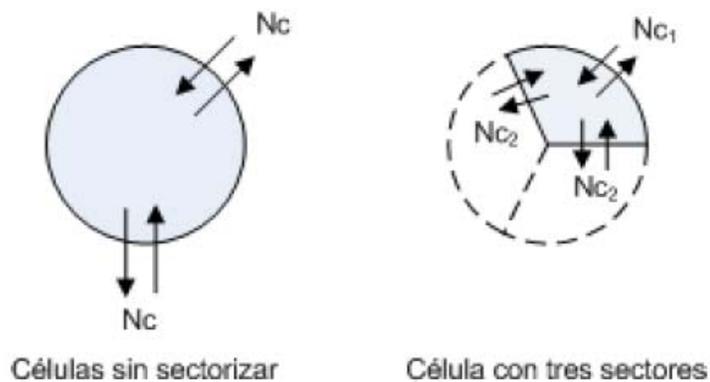
Asumiendo que la sectorización solo afecta al área de cobertura del sector, en el cálculo del número de

móviles presentes en el sector se realiza la siguiente corrección:

$$M_T \text{ nuevo} = \frac{M_T \text{ antiguo}}{\text{Grado de Sectorizacion}}$$

2. **NC** (Número medio de móviles que cruzan de un sector a otro):

Figura 9. Representación del número de cruces en una célula en un sector.



Fuente: G. Parames, **Dimensionado de Redes Móviles de Segunda Generación y su Aplicación en Modelos de Costos**, página 227.

Basándonos en la geometría de las células y los sectores, corregimos el número total de cruces en el sector, definido como N_{cT} mediante:

$$N_{cT} = \frac{N_c \cdot (\pi + \text{Grado de sectorizacion})}{\text{Grado de sectorizacion} \cdot \pi}$$

Al realizar la sectorización se hace indispensable añadir nuevo hardware a la BTS. Derivado de ello, la herramienta permite utilizar dos métodos distintos para ampliar el grado de sectorización en una BTS:

1. Acumulación de equipos: Mediante este procedimiento, además de colocar los paneles de la antena de forma correcta, es necesario instalar hardware adicional en el lugar en el que se encuentra la antena.
2. Equipos Compartidos: Este método, por el contrario, considera que al hacer la sectorización se divide la potencia entre distintos sectores. De esta forma se obtiene un radio celular mas reducido, pero se podrá cumplir de mejor forma con el GoS solo será necesario un distribuidor y nuevos cables, así como las nuevas antenas, con lo que el costo de este procedimiento es sensiblemente inferior al método de acumulación de equipos. Para garantizar la existencia de, al menos, 8 canales en cada sector, esto es, de al menos un radiocanal, el número de canales de la BTS elegida debe ser igual o superior al número de sectores multiplicado por 8.

En cada uno de los métodos de sectorización se considera un factor de costo (f) para poder plasmar su efecto final sobre el costo de la BTS, tal y como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$C_{total} = C_{BTS} + (n_{sectores}^o - 1) (C_{BTS} \cdot f)$$

En el caso de que la sectorización no sea suficiente, se recurre a una de las siguientes posibilidades.

- Si se está trabajando en una única banda de frecuencias, ya sea 900 MHz o 1800 MHz, se recurre a la reducción del radio celular hasta que se consiga cumplir el GoS.
- Si por el contrario se trabaja con doble banda (900 MHz y 1800 MHz conjuntamente) se utilizará el dimensionado de células paraguas para responder a las pérdidas del sistema primario.

1.4.6 Reducción del Radio Celular

En este caso se realiza un ciclo iterativo que va reduciendo el valor del radio obtenido hasta conseguir cumplir con el Grado de Servicio. Este proceso se realiza con todas las BTS's disponibles, incluyendo sus posibles grados de sectorización, de manera que se obtienen tanto Estaciones Base omnidireccionales como sectorizadas, con sus correspondientes radios, reducidos hasta cumplir con el GoS requerido.

Las BTS's obtenidas mediante este método tienen un radio celular inferior al que se consigue utilizando su potencia nominal de transmisión. Por ello, tras obtener la BTS definitiva para el despliegue celular en cada zona, es necesario recalcular su nueva potencia de transmisión con el objeto de restringirla, para evitar interferencias en las células vecinas y evitar un mayor costo por uso no útil de energía

1.4.7 Células paraguas para el tráfico desbordado

En el caso de trabajar con doble banda de frecuencias y tras efectuar la sectorización, se calcula el despliegue en el área con los datos obtenidos tras la sectorización, considerando la

probabilidad de bloqueo obtenida y el tráfico desbordado por cada célula. El porcentaje de tráfico desbordado con respecto al tráfico total que recibe la célula debe ser inferior a un umbral marcado.

Seguidamente, se dimensiona el tráfico desbordado de la denominada banda 'primaria' con nuevas Estaciones Base, situadas en el mismo lugar en que se encuentran las BTS's principales, pero operando en otra banda de frecuencias. El tráfico ofrecido a esta segunda banda, la denominada banda 'secundaria', se calcula a partir de todo el tráfico desbordado en la zona a estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A_p \text{ total} = A_p \text{ bts primaria} \cdot \text{Numero de Estaciones Base}$$

Donde A_p bts primaria es el tráfico desbordado de una única Estación Base de la banda primaria. Finalmente, se realiza el despliegue celular de la banda secundaria. Tras calcular el radio celular de una BTS y antes de realizar el estudio del modelo de movilidad, se obtiene el área de dicha célula y con ello se calcula el número de Estaciones Base necesarias para cubrir toda la superficie a estudio. Una vez que se conoce el número de BTS's, se puede obtener el tráfico ofrecido a cada una de ellas:

$$A_o \text{ bts} = \frac{A_p \text{ total}}{n^{\circ} \text{ BTS's banda secundaria}}$$

A partir de este valor se puede realizar el estudio de movilidad y de tráfico. Tras calcular el valor de la probabilidad de bloqueo se debe comprobar si el sistema conjunto, es decir, el formado por la

banda primaria y la secundaria conjuntamente, cumple con el Grado de Servicio requerido.

Se considera que el tráfico ofrecido a cada una de las células primarias tiene características de Poisson. Por lo tanto, el tráfico desbordado hacia las células paraguas se define como un proceso de Poisson interrumpido (IPP, Interrupted Poisson Process). Para calcular los valores del tráfico desbordado del proceso IPP se deben utilizar las fórmulas del modelo de Kosten. Sin embargo, la utilización de este modelo supone que el tráfico ofrecido a las células paraguas proviene única y exclusivamente del desbordamiento, situación que no se adecua a nuestro caso. De forma correcta, para el tratamiento del dimensionado, se deberían utilizar modelos de tráfico en dos dimensiones. Por lo tanto, se tomará como primera aproximación un dimensionado basado en la fórmula de Erlang.

Este método considera todas las Estaciones Base disponibles, con todos los grados de sectorización permitidos.

Aún así, pueden darse dos casos en los que no se cumpla con los requerimientos. El primero es que el porcentaje de tráfico desbordado por las BTS's sea superior al permitido, mientras que el segundo es que la probabilidad de bloqueo del sistema completo no cumpla con lo requerido. En ambos casos se recurre a la reducción del radio celular, si bien en el primer caso se procede a la reducción del radio celular de las BTS's de la banda primaria, mientras que en el segundo se realiza la reducción del radio celular de las BTS's de la banda secundaria. El proceso de reducción, así como el cálculo de la nueva potencia de transmisión

y del porcentaje de reducción de potencia, se realizan de igual modo que en los casos anteriores.

1.4.8 Modelo de la red GSM

El tipo y número de los equipos de red depende en gran manera del despliegue celular. Como normalmente, un único BSC y su correspondiente cluster de BTS's proporcionan cobertura a un área mayor que una ciudad, se deberían realizar cálculos a nivel de una provincia o de una comunidad autónoma para poder obtener resultados precisos. En el caso de estudiar el subsistema NSS, se llegaría a necesitar una configuración a nivel nacional, y con ello, una enorme cantidad de información muy precisa. Por esta razón se utiliza un modelo de proyección, tanto para el subsistema BSS como el NSS, que se basa en el estudio de escenarios típicos.

1.4.8.1 Modelos de proyección de los BCS's

El modelo de proyección refleja en cada célula de cada tipo definido en el escenario, la contribución del uso de los equipos jerárquicamente superiores a él. Es decir, en este caso concreto, debemos asignar a cada célula la parte que usa del BSC al que está asignado. Este modelo se basa en el siguiente concepto: si se considerasen iguales todas las células de una determinada ciudad o municipio, el factor de utilización de un determinado equipo compartido sería la división del número de equipos entre el número de células. Sin embargo, dentro de cada ciudad, las células son diferentes en términos de radio celular, tráfico y tipo de BTS. Para poder reflejar esta circunstancia se considera un

modelo de superposición lineal, que se basa en calcular el uso del equipo de red si todas las células fuesen del mismo tipo. Al repetir este cálculo por cada tipo de célula relativa a cada una de las zonas estudiadas se obtiene el factor de uso por cada tipo de Estación Base. Multiplicando por el número de células de cada tipo se obtiene el valor total del factor de uso de ese equipo por cada ciudad tipo.

El modelo considera, para cada tipo de célula, una estructura en forma de cluster genérica y homogénea en donde todas las células conectadas al BSC son del mismo tipo, teniendo por lo tanto, el mismo radio celular y los mismos valores de tráfico. La estructura entre el BSC y los BTS's se define en forma de árbol, en el que debe establecerse el número máximo de saltos, la distancia máxima de cobertura, así como el valor máximo de tráfico capaz de manejar el BSC. Como resultado de este cálculo se obtiene el número medio de BSC's por ciudad.

En consecuencia, el número máximo de células que forman el cluster, se calcula gracias a una limitación en función de cinco parámetros, cuyos valores se proporcionan como datos de entrada. Dichos parámetros son: la capacidad del BSC en Erlangs, el número máximo de BTS's asignables al BSC, la fiabilidad de un único enlace, la fiabilidad total del mayor camino y la distancia máxima de cobertura. Adicionalmente, se debe proporcionar el número de interfaces hacia los BTS's que posee cada BSC así como el costo de cada BSC.

El algoritmo desarrollado se realiza para cada célula individualmente, con sus correspondientes parámetros (radio,

Tráfico, no de canales), por lo que finalmente se superponen tantas configuraciones homogéneas como diferentes tipos de BTS's. De esta manera, la realidad de la heterogeneidad en el árbol del BSC se calcula como una combinación lineal de configuraciones homogéneas. Con este método se consigue proyectar la influencia de los diferentes despliegues celulares a la parte superior de la red, sin necesidad de realizar una completa y laboriosa configuración a nivel nacional.

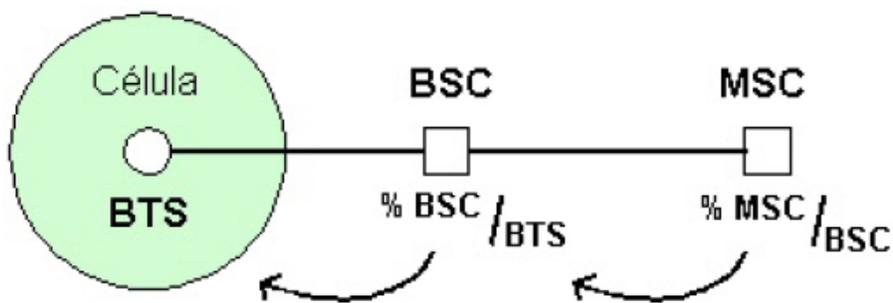
En el caso de realizar el despliegue celular en dos bandas de frecuencias distintas es probable que se utilicen las denominadas células paraguas. En esta situación, el desarrollo del modelo de proyección de los BSC's se torna mas complicado, ya que estas células, que trabajan en una banda de frecuencias distinta a la de las células del despliegue primario, también cubren toda la zona bajo estudio, y necesitan su correspondiente proyección hacia la red troncal.

La solución a este problema se ha orientado al estudio del tráfico cursado por la banda secundaria. El primer paso es obtener el tráfico al que da servicio una célula paraguas. A partir de este valor se puede obtener el tráfico total al que da servicio la totalidad de este tipo de células, y calcular el tráfico medio correspondiente por cada BTS de la primera banda de frecuencias. Finalmente, se considera únicamente la existencia de las Estaciones Base de la primera banda de frecuencias, con la salvedad de que el tráfico al que da servicio cada BTS será incrementado con el valor obtenido en el anterior proceso.

1.4.8.2 Modelo de proyección de los MSC's

De forma análoga al modelo de proyección de los BSC's, se consideran clusters de MSC's homogéneos formados de forma análoga al modelo de proyección de los BSC's, se consideran clusters de MSC's homogéneos formados por clusters de BSC's homogéneos, es decir, con los mismos tipos de BTS's. El objetivo es calcular el número máximo de BSC's asignados a cada MSC y dicho número viene limitado por la capacidad máxima del MSC en Erlangs y por el número máximo de BSC's asignables a un MSC. Como se dispone del uso del BSC asignable a cada célula, multiplicando este coeficiente por el factor de utilización del MSC obtenido, se consigue calcular el factor de utilización del MSC correspondiente a cada BTS.

Figura 10. Modelo de cluster jerárquico MSC-BSC-BTS.



Fuente: G. Parames, **Dimensionado de Redes Móviles de Segunda Generación y su Aplicación en Modelos de Costos**, página 265.

A efectos de modelado se considera incluido en el NSS el Subsistema de operación y mantenimiento (OMS, Operation and Maintenance Subsystem) encargado de las funciones de gestión de red, de la seguridad del acceso a la red y de las comunicaciones para los usuarios y los equipos.

2. VoIP

2.1 Redes de conmutación de paquetes

La conmutación es una técnica que sirve para hacer un uso eficiente de los enlaces físicos en una red de computadoras. Si no existiera una técnica de conmutación en la comunicación entre dos nodos, se tendría que enlazar en forma de malla. Una ventaja adicional de la conmutación de paquetes, (además de la seguridad de transmisión de datos) es que como se parte en paquetes el mensaje, éste se está ensamblando de una manera más rápida en el nodo destino, ya que se están usando varios caminos para transmitir el mensaje, produciéndose un fenómeno conocido como "transmisión en paralelo". Además, si un mensaje tuviese un error en un bit de información, y estuviésemos usando la conmutación de mensajes, tendríamos que retransmitir todo el mensaje; mientras que con la conmutación de paquetes solo hay que retransmitir el paquete con el bit afectado, lo cual es mucho menos problemático. Lo único negativo, quizás, en el esquema de la conmutación de paquetes es que su encabezado es más grande.

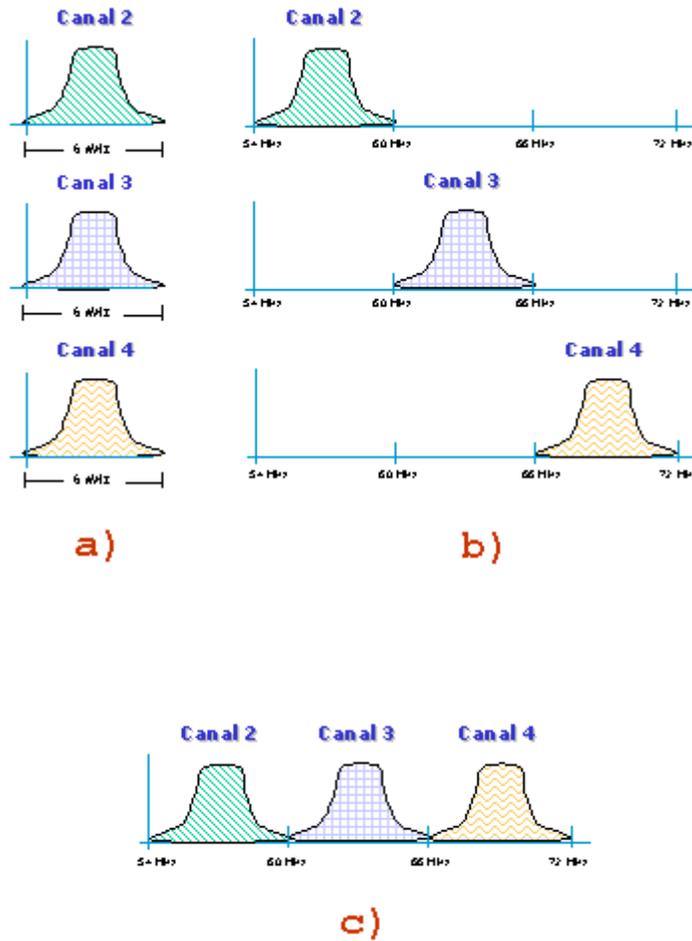
La conmutación de paquetes se trata del procedimiento mediante el cual, cuando un nodo quiere enviar información a otro lo divide en paquetes. Cada paquete es enviado por el medio con información de cabecera. En cada nodo intermedio por el que pasa el paquete se detiene el tiempo necesario para procesarlo.

Una red de conmutación de paquetes consiste en una "malla" de interconexiones facilitadas por los servicios de telecomunicaciones, a través de la cual los paquetes viajan desde la fuente hasta el destino.

Existen dos vertientes en la conmutación de paquetes:

- **FDM** (Frequency Division Multiplexing): multicanalización por división de tiempo. Los multicanalizadores en FDM tienen como entrada varios canales trabajando en diferentes frecuencias y los combina en un solo ancho de banda. En televisión por cable, una red de cable es usada para contener diferentes canales de televisión los cuales utilizan diferentes frecuencias y cuyo ancho de banda de cada canal es de 6 MHz. Un espectro típico de este tipo de sistemas es de 500 a 800 MHz de ancho de banda, el cual es suficiente para dar cabida a más de 80 canales de programación. Cada canal funciona separadamente, los cuales al ser sintonizados en el televisor se desmulticanaliza un canal cada vez. En la figura se puede ver un ejemplo del sistema de conmutación FDM.

Figura 11. Sistema de Conmutación FDM.



Fuente: N. Rodríguez. **Protocolo X.25**, página 18.

Otra variante de FDM es WDM (Wavelength Division Multiplexing) o Multicanalización por División de longitud de Onda. WDM en fibra óptica funciona muy similar a FDM en cable coaxial y en sistemas de microondas. Con esta técnica de multicanalizar

haces de luz es posible que sean enviadas simultáneamente más de 160 longitudes de onda por fibra.

Otra tecnología innovadora en las fibras ópticas (una nueva versión de WDM) es DWDM (WDM denso). En la actualidad los sistemas basados en DWDM pueden soportar más de 320 longitudes de onda equivalente a 320 canales de alta velocidad por fibra. Actualmente se realizan investigaciones para que en un futuro cercano se puedan transmitir más de 15,000 longitudes de onda por fibra con la tecnología conocida como "chirped-pulse WDM" de los laboratorios Bell. Con esta tecnología las fibras ópticas tendrán una capacidad inimaginable, todo gracias a la multicanalización.

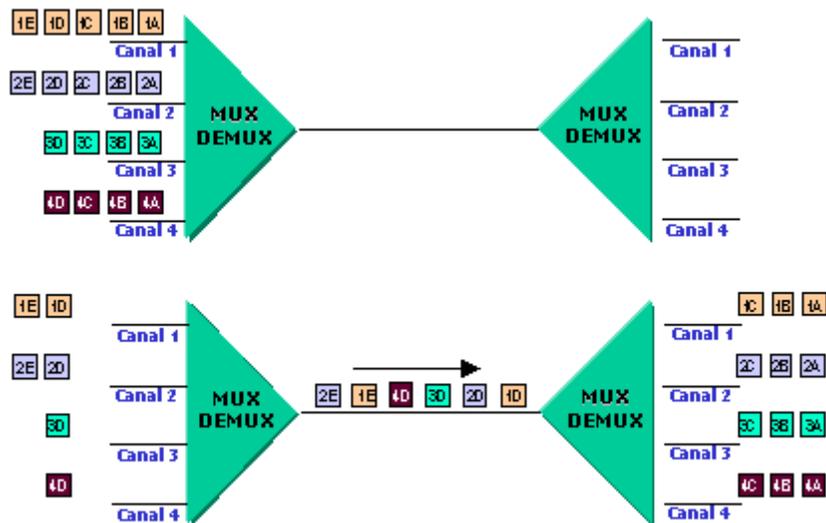
- **TDM** (Time Division Multiplexing): multicanalización por división de frecuencias. TDM fue originalmente desarrollado en la red telefónica pública en los años cincuenta para eliminar los problemas de ruido y filtraje de FDM cuando muchas señales son multicanalizadas en el mismo medio de transmisión. Después, se vio la necesidad de incrementar la eficiencia de multicanalización en los atestados manojos de cables de las grandes ciudades. Esta técnica hizo uso de la tecnología emergente de esa época, electrónica del estado sólido, y fue 100% digital. La información analógica es primero convertida a formato digital antes de la transmisión. Aunque el costo inicial de esta técnica fue alto, fue menos que el costo de reemplazar cables o cavar grandes túneles. A principios de los años ochentas, las redes TDM utilizaban multicanalizadores inteligentes y empezaron a aparecer en redes privadas de datos, conformando el método primario para compartir

instalaciones costosas de transmisión de datos entre muchos usuarios.

Un multicanalizador basado en TDM empaqueta un conjunto de información (tramas de bits) de diferentes fuentes en un solo canal de comunicación en tiempos (muy cortos) diferentes. En el otro extremo estas tramas son reensambladas y llevadas a su respectivo canal. Los mux TDM como manejan tramas de bits son capaces, además de comprimir la información de eliminar redundancias en los paquetes, muy útil en el caso de aplicaciones de voz.

Una aplicación típica de esta técnica es en los circuitos privados basados en el formato E1. E1 es un estándar de la ITU que soporta una tasa de transmisión de 2.048 Mbps. Cada canal E1 contiene tramas con 32 canales de voz multicanalizados (30 canales son para voz y 2 canales son para la señalización). Esto permite que 30 conversaciones de voz sean transmitidas por un mismo canal simultáneamente multicanalizadas en el tiempo (obviamente, transparente al usuario).

Figura 12. Ejemplo de Multicanalización TDM



Fuente: N. Rodríguez. **Protocolo X.25**, página 25.

En los sistemas basados en conmutación de paquetes, la información/datos a ser transmitida previamente es ensamblada en paquetes. Cada paquete es transmitido individualmente y éste puede seguir diferentes rutas hacia su destino. Una vez que los paquetes llegan a su destino, los paquetes son otra vez re-ensamblados.

Mientras que la conmutación de circuitos asigna un canal único para cada sesión, en los sistemas de conmutación de paquetes el canal es compartido por muchos usuarios simultáneamente. La mayoría de los protocolos de WAN tales como TCP/IP, X.25, Frame Relay, ATM, son basados en conmutación de paquetes.

La conmutación de paquetes es más eficiente y robusto para datos que pueden ser enviados con retardo en la transmisión (no en tiempo real), tales como el correo electrónico, paginas web, archivos, etc. En el caso de aplicaciones como voz, video o audio la conmutación de paquetes no es muy recomendable a menos que se garantice un ancho de banda adecuado para enviar la información. Pero el canal que se establece no garantiza esto, debido a que puede existir tráfico y nodos caídos durante el recorrido de los paquetes. Estos son factores que ocasionan que los paquetes tomen rutas distintas para llegar a su destino. Por eso se dice que la ruta que toman los paquetes es probabilística, mientras que en la conmutación de circuitos, esta ruta si esta determinada.

Existen dos vertientes en la conmutación de paquetes:

- Virtual Circuit Packet Switching
- Datagram Switching

En general puede decirse que ambas técnicas de conmutación pueden emplearse bajos los siguientes criterios:

a. Conmutación de circuitos:

- Tráfico constante
- Retardos fijos
- Sistemas orientados a conexión
- Sensitivos a pérdidas de la conexión
- Orientados a voz u otras aplicaciones en tiempo real

b. Conmutación de paquetes:

- Tráfico en ráfagas
- Retardos variables
- Orientados a no conexión (pero no es una regla)
- Sensitivos a pérdida de datos
- Orientados a aplicaciones de datos

La información que se va a transmitir se divide en paquetes (de longitud variable), que son almacenados en un buffer cuando llegan a un nodo de red. La dirección que se incluye en el paquete es leída, y entonces se envían los paquetes al receptor al siguiente nodo. Generalmente, la conmutación de paquetes es una técnica que se utiliza en redes públicas de datos, la red X.25. Los paquetes constan de un número de octetos. El paquete menor contiene 16 octetos y el mayor contiene 1024. Además de la dirección se puede incluir en el paquete información de control, gestión de fallos y retransmisión. Esta información se maneja en las capas 1-3 del modelo OSI.

No existe un canal dedicado para cada usuario: la transferencia de información ocupa tanto (o tan poco) ancho de banda como necesite. Si no hay ancho de banda disponible en ese momento, la información se queda en el buffer hasta que se libere suficiente ancho de banda. Todo esto conlleva a retrasos en el proceso de transferencia.

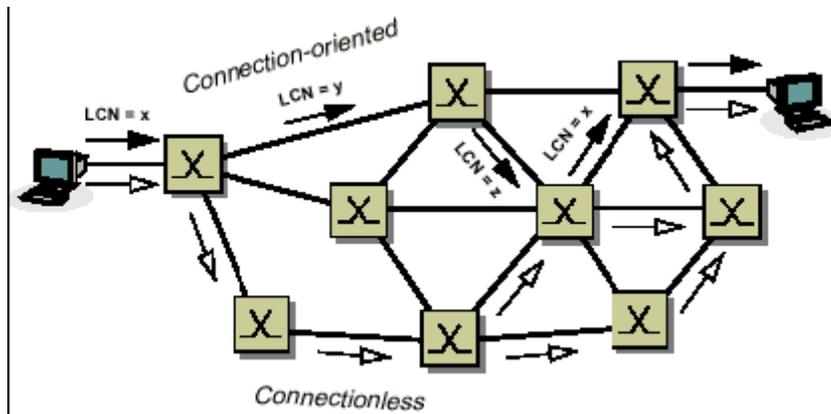
Si la velocidad de transmisión manejada por el equipo de transmisión excede la que el receptor es capaz de manejar, el buffer del nodo se llenará pronto. El receptor mandará un mensaje al emisor, y como resultado la transmisión se verá interrumpida temporalmente.

Esta función particular del modo paquete, que hace que usuarios con diferentes velocidades de transmisión, puedan comunicarse entre ellos, en una gran ventaja frente a redes de conmutación de circuitos.

Las aplicaciones de las redes de paquetes pueden ser o bien orientadas a la conexión o no orientadas a la conexión. En la transferencia orientada a la conexión, todos los paquetes viajan por el mismo camino a través de la red. El proceso de transferencia se divide en tres fases:

- Establecimiento de llamada: el primer paquete, el paquete de establecimiento de llamada, se envía con una dirección completa. La información de dirección, en la forma de un número de canal lógico (LCN), es almacenada en cada nodo por el que pasa. Estableciéndose así, una conexión virtual (lógica).
- Transferencia de datos: únicamente se envía en cada paquete, el LCN (no la dirección completa). Los nodos, una vez que han leído el LCN, saben a donde mandar el paquete.
- Liberación: se envía un paquete de liberación, ordenando el borrado de la información de dirección en los nodos y por tanto liberando la conexión.

Figura 13. Transferencia orientada a la conexión y no orientada a la conexión



Fuente: N. Rodríguez. **Protocolo X.25**, página 32.

En cambio en una transferencia no orientada a la conexión, los paquetes usan siempre el camino más adecuado a través de la red. En este caso la transferencia es un proceso de un único paso.

En la transferencia no orientada a la conexión, los paquetes no llegan necesariamente en el orden correcto, ya que caminos diferentes a través de la red tienen retrasos diferentes.

La unidad receptora debe llevar un seguimiento del orden de los paquetes y por tanto tiene que ser más compleja.

2.1.1 Red clásica de conmutación de paquetes X.25

X25 es el predecesor de Frame Relay y se trata de un protocolo para redes de conmutación de paquetes.

En la conmutación de paquetes, los datos de los usuarios se dividen en paquetes de longitud variable a los que se les asigna una cabecera con una dirección y la información de control necesaria.

Para alcanzar una calidad de transferencia alta, los paquetes recolocan en tramas. Cada trama que se manda por un determinado link se guarda en un buffer hasta que su información ha sido comprobada y la trama ha sido aceptada por el nodo receptor o abonado. El hecho de que cada nodo almacene los paquetes en un buffer conlleva un retraso, pero la información llega a su destino correctamente (sin errores).

Este método se conoce como “*store and forward*”, porque cada nodo primero almacena los paquetes y luego los manda. El mantenimiento y gestión de los paquetes llevado a cabo por los nodos consiste en comprobar el formato del paquete, seleccionar un camino de salida, comprobar que no tenga errores, y esperar a que haya capacidad disponible en el camino de salida.

El equipo terminal de datos del usuario (DTE) se conecta al equipo terminal del circuito de datos (DCE), quien actúa como adaptador de línea. La red incluye un número de Intercambios de conmutación de paquetes (PSEs). A menudo, Estos PSEs se conectan por enlaces directos, dando lugar a una configuración de “todos-con-todos”. Las funciones de control del conjunto de la red se lleva a cabo en un centro de gestión de red (NMC).

La conmutación de paquetes se desarrolló durante los 60-70 como complemento a la red de conmutación de circuitos PSTN,

orientada a telefonía. El circuito virtual establecido (en el caso de comunicación orientada a la conexión) entre usuarios en una red de conmutación de paquetes únicamente hace uso de los recursos de transmisión (ancho de banda) cuando realmente se transfiere la información. Por otra parte, una conexión en la conmutación de paquetes se reserva un ancho de banda por período de tiempo concreto de la conexión, tanto si se transmite información como si no se transmite.

Como resultado, las redes de conmutación de paquetes hacen un uso más eficiente de la capacidad disponible simplemente porque permite que varios usuarios puedan compartir el conjunto del ancho de banda disponible.

Una ventaja de X.25, en comparación con la comunicación de datos en redes de conmutación de circuitos es que se puede enviar datos a más de un receptor al mismo tiempo. La conmutación de paquetes permite también la comunicación entre terminales que tengan diferentes tasas de transferencia y diferentes tipos de interfaces.

Otro factor a favor de X.25, es la disponibilidad de redes públicas X.25 en todo el mundo.

Sus funciones integradas para la detección y corrección de errores permiten transferencias seguras incluso en circuitos de calidad bastante baja. Esto hace que X25 sea idóneo para comunicaciones de datos a ráfagas a larga distancia, por enlaces de transmisión de calidad limitada.

La implantación de este protocolo esta limitada por el ancho de banda. Tradicionalmente, el ancho de banda de X.25 ha sido 64kbits/s, pero hoy en día existen redes X.25 que utilizan anchos de banda de 2Mbit/s. Pero aún así es insuficiente para interconectar redes privadas (interconexión LAN). Frame Relay y ATM son alternativas mucho más potentes.

2.1.2 Modo paquete (X.25)

Modo paquete significa que la información se divide en paquetes, los cuales pueden tener longitudes diferentes y que van etiquetados para su transporte por la red. Las etiquetas (correspondientes a cabeceras y colas de las capas 2 y 3 del modelo OSI) son utilizadas para la multiplexación, conmutación y detección de fallos. Los sistemas modo paquete están optimizados para la transmisión de datos, que a menudo son a ráfagas.

2.2 Redes de IP

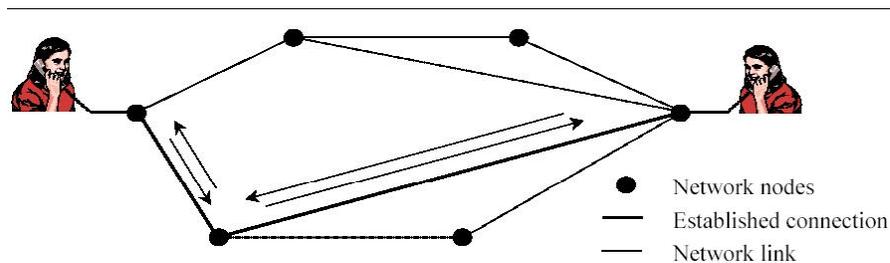
Internet se ha convertido en el factor más potente que guía el proceso de convergencia. Esto es debido principalmente al hecho de que la suite del protocolo Internet se ha erigido como un estándar utilizado en casi cualquier servicio. La suite del protocolo Internet está compuesto principalmente por el protocolo Internet (IP), y el protocolo de control del transporte (TCP); consecuentemente el término TCP/IP refiere a la familia del protocolo al completo.

Una red se compone de dos partes principales, los nodos y los enlaces. Un nodo es cualquier tipo de dispositivo de red como un ordenador personal. Los nodos pueden comunicar entre ellos a través de enlaces,

como son los cables. Hay básicamente dos técnicas de redes diferentes para establecer comunicación entre dos nodos de una red: las técnicas de redes de conmutación de circuitos y las de redes de conmutación de paquetes. La primera es la más antigua y es la que se usa en la red telefónica y la segunda es la que se usa en las redes basadas en IP.

Una red de conmutación de circuitos crea un circuito cerrado entre dos nodos de la red para establecer una conexión. La conexión establecida está dedicada a la comunicación entre los dos nodos. Uno de los problemas inmediatos de los circuitos dedicados es la pérdida de capacidad, dado que casi ninguna transmisión usa el 100% del circuito todo el tiempo. Además, si un circuito falla en el medio de una transmisión, la conexión entera se pierde y debe establecerse una nueva.

Figura 14. Una red de circuitos conmutados (circuito cerrado dedicado).

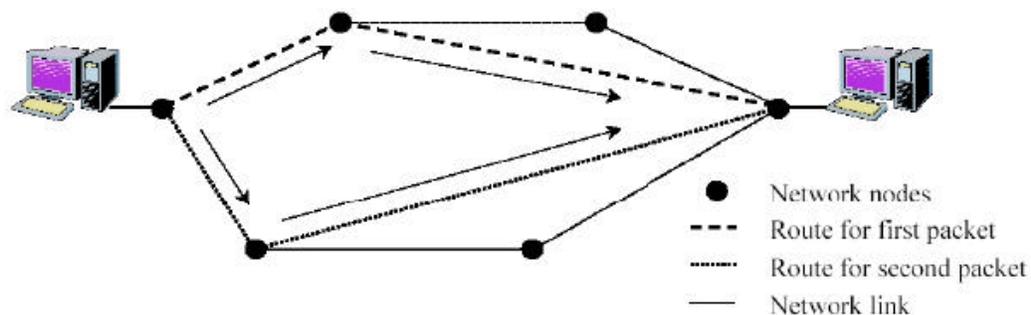


Fuente: Axis Communications, **Las Redes IP, Conceptos Básicos**, página 3.

Las redes basadas en IP utilizan la tecnología de conmutación de paquetes, que usa la capacidad disponible de una forma mucho más eficiente y que minimiza el riesgo de posibles problemas como la

desconexión. Los mensajes enviados a través de una red de conmutación de paquetes se dividen primero en paquetes que contienen la dirección de destino. Entonces, cada paquete se envía a través de la red y cada nodo intermedio o router de la red determina a donde va el paquete. Un paquete no necesita ser enrutado sobre los mismos nodos que los otros paquetes relacionados. De esta forma, los paquetes enviados entre dos dispositivos de red pueden ser transmitidos por diferentes rutas en el caso de que se caiga un nodo o no funcione adecuadamente.

Figura 15. Red de conmutación de paquetes.



Fuente: Axis Communications, **Las Redes IP, Conceptos Básicos**, página 4.

Las soluciones de redes basadas en IP son sustitutos flexibles y económicos para soluciones que utilizan tecnologías de red antiguas. Las diversas propiedades entre estas tecnologías consisten en como se representa, gestiona y transmite la información. La información se estructura simplemente en colecciones de datos y entonces tiene sentido

para la interpretación que le damos. Hay dos tipos principales de datos, analógicos y digitales y ambos poseen diferentes características y comportamientos. Los datos analógicos se expresan como ondas continuas variables y por tanto representan valores continuos. Los ejemplos incluyen la voz y el vídeo. Por otra parte los datos digitales se representan como secuencias de bits, o de unos y ceros. Esta digitalización permite que cualquier tipo de información sea representada y medida como datos digitales. De esta forma, el texto, sonidos e imágenes pueden representarse como una secuencia de bits. Los datos digitales pueden también comprimirse para permitir mayores rangos de transmisión y puede ser encriptada para su transmisión segura. Además una señal digital es exacta y ningún tipo de ruido relacionado puede filtrarse. Los datos digitales pueden ser transmitidos a través de tres tipos generales de medios: metal, como es el cobre, fibra óptica u ondas de radio.

2.2.1 Infraestructura de la red de área local (LAN)

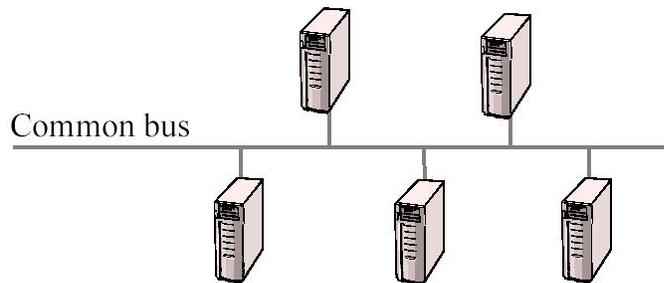
Hablar genera información pero no se comunica o comprende necesariamente. La comunicación digital tiene problemas similares que necesitan ser resueltos. El receptor debe conocer como están organizados los bits de los mensajes para poder comprenderlo. El receptor debe conocer el rango al que los bits están llegando para interpretar el mensaje. Además, algunas reglas deben especificar lo que ocurrirá si varios dispositivos de la red intentan usar un medio compartido simultáneamente. La mejor forma de asegurar que los dispositivos de la red envían y reciben de forma compatible es basándolos en los protocolos estándares que definen las reglas y maneras en las que los dispositivos inician y llevan a cabo la comunicación. Hasta ahora nos hemos centrado

en la comunicación entre dos dispositivos de red. En cualquier caso, existen varias estrategias de conexión diferentes y protocolos que pueden ser usados para mantener una comunicación entre múltiples dispositivos de red. Las Redes de Área Local (*Local Area Networks, LANs*) se utilizan para conectar dispositivos de red relativamente próximos. Típicamente una LAN opera en un espacio limitado, como puede ser en un edificio de oficinas, en una escuela o en un domicilio. Las LANs suelen pertenecer y ser gestionadas por una única persona u organización. Utilizan también ciertas tecnologías de conectividad y a menudo algunos tipos de medios compartidos. Una característica importante de las LANs es su topología, donde el término topología refiere al nivel al que están conectados los dispositivos a la red. Podemos pensar en las topologías como las formas que puede tener la red.

Las topologías de red pueden ser clasificadas en los siguientes tipos básicos:

- **La topología de bus:** utiliza un medio de comunicación compartido, a menudo denominado “bus común”, para conectar todos los dispositivos de la red. Un dispositivo que quiera comunicar con otro enviará paquetes a través del bus. Todos los dispositivos conectados al bus recibirán el paquete enviado pero sólo el que es el receptor aceptará y procesará estos paquetes.

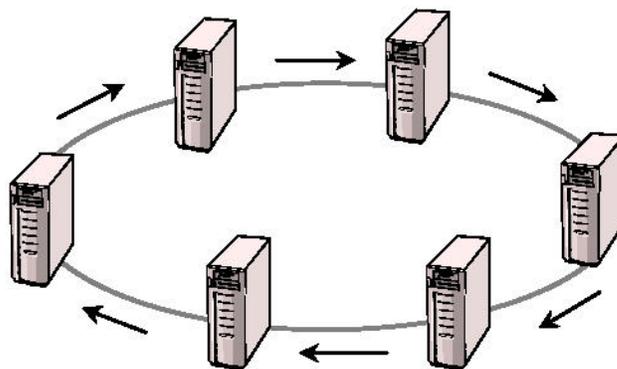
Figura 16. La topología de bus.



Fuente: Axis Communications, **Las Redes IP, Conceptos Básicos**, página 6.

- La **topología de anillo**: está estructurada de la misma forma en la que cada dispositivo de la red tiene exactamente dos vecinos para los propósitos de comunicación. Todos los paquetes viajan en la misma dirección dentro del anillo.

Figura 17. La topología de anillo.

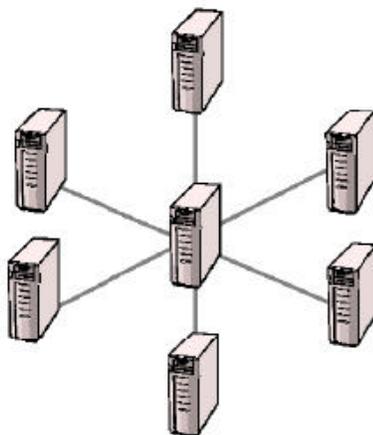


Fuente: Axis Communications, **Las Redes IP, Conceptos Básicos**, página 7.

- La **topología de estrella**: establece un centro lógico de comunicaciones al que están directamente conectados todos los dispositivos de la red. Cada dispositivo necesita un cable separado al punto central y consecuentemente todos los paquetes viajarán a través de centro de comunicación. Existen diferentes protocolos que pueden utilizarse conjuntamente a cualquier topología de red. Además de identificar los estándares de comunicación entre los dispositivos de la red, el protocolo establece las especificaciones técnicas necesarias para la transmisión de datos en una red. Para transmitir un mensaje a otro dispositivo de la red, el mensaje se divide en paquetes de datos. Estos paquetes después serán transmitidos a través del medio de comunicación y se re-ensamblarán de nuevo cuando termine la recepción.

Los protocolos estandarizados utilizan diferentes topologías de red junto con los niveles de cable y antena para construir diferentes arquitecturas de red que pueden ser con cable o inalámbricas. Estos protocolos representan el segundo bloque para conseguir las comunicaciones digitales, el nivel de transmisión.

Figura 18. La topología de estrella.



Fuente: Axis Communications, **Las Redes IP, Conceptos Básicos**, página 7.

2.2.2 Interconexión de LANs en una arquitectura basada en IP

Hasta ahora hemos descrito como los dispositivos de red comunican sobre diferentes tipos de LANs. En cualquier caso, las diferentes LANs están diseñadas para cubrir objetivos y necesidades diferentes. A veces es preciso interconectar varias LANs para extender la comunicación fuera de los límites de la red. Las colecciones de redes interconectadas, y geográficamente dispersas, se denominan *Redes de Área Extensa (Wide Area Network, WAN)*. Probablemente la WAN más conocida sea Internet, que cubre la mayoría del planeta.

Es necesaria una arquitectura de comunicación compartida para todos los usuarios, ya sean personas privadas, empresas, oficinas de la administración pública u otras organizaciones, para ser

capaces de intercambiar información digital con cualquier otro a través de una WAN.

Esta arquitectura debería ser un estándar abierto y soportar diferentes protocolos de nivel de transmisión, particularmente aquellos que pueden ser utilizados sobre una amplia variedad de

medios de transmisión. Afortunadamente la suite del protocolo Internet ofrece una solución bien diseñada para ajustarse a estos requerimientos.

2.2.3 La suite del protocolo Internet

La suite del protocolo Internet es una familia de protocolos en niveles, en la que cada nivel se construye a partir del nivel inferior, añadiéndole nuevas funcionalidades. El nivel más bajo está ocupado exclusivamente en el envío y la recepción de datos utilizando el nivel de transmisión. Los superiores son protocolos diseñados para tareas específicas como son el envío y la recepción de películas animadas, sonido e información de control. Los protocolos intermedios gestionan aspectos como la división de los mensajes en paquetes y el envío fiables entre los dispositivos de la red.

2.2.4 El protocolo Internet

El protocolo Internet (IP) es la base de la suite del protocolo Internet y es el protocolo de red más popular del mundo. IP permite que se transmitan los datos a través y entre redes de área

local, de ahí su nombre, inter-net protocol (protocolo entre redes). Los datos viajan sobre una red basada en IP en forma de *paquetes IP* (unidad de datos). Cada paquete IP incorpora una cabecera y los datos del propio mensaje, y en la cabecera se especifican el origen, el destino y otra información acerca de los datos.

IP Es un protocolo sin conexión de manera que cada paquete se trata como una entidad separada, como un servicio postal. Todos los mecanismos para asegurar que los datos enviados llegan de forma correcta e intacta los proporcionan los protocolos de más alto nivel dentro de la suite. Cada dispositivo de red tiene al menos una dirección IP que lo identifica de forma única del resto de dispositivos de la red. De esta manera, los nodos intermedios pueden guiar correctamente un paquete enviado desde el origen a su destino.

2.2.5 El protocolo de Transporte

El Protocolo de Control del Transporte (*Transport Control Protocol, TCP*) es el protocolo más común para asegurar que un paquete IP llega de forma correcta e intacto. TCP ofrece la transmisión fiable de datos para los niveles superiores de aplicaciones y servicios en un entorno IP. TCP proporciona fiabilidad en la forma de un envío de paquetes de extremo a extremo orientado a la conexión a través de una red interconectada.

2.3 Telefonía y Voz sobre IP

IP es la tecnología que envía comunicación de voz sobre su red de datos utilizando Internet Protocol (IP). Esto contrasta con los sistemas telefónicos tradicionales donde las redes de datos y de voz estaban totalmente separadas. Cada vez más compañías de todos los tamaños están reemplazando sus sistemas telefónicos tradicionales por Telefonía IP para obtener tanto beneficios en lo relacionado con la productividad como en ahorros en los costos.

2.3.1 Ventajas de la Tecnología VoIP

Las ventajas de utilizar la tecnología IP son:

- Integración sobre su intranet de la voz como un servicio más de su red, tal como otros servicios informáticos.
- Las redes IP son las redes estándar universales para la Internet, Intranets y extranets.
- Estándares efectivos (H.323)
- Interoperabilidad de diversos proveedores
- Uso de las redes de datos existentes
- Independencia de tecnologías de transporte (capa 2), asegurando la inversión.
- Menores costos que tecnologías alternativas (voz sobre TDM, ATM, Frame Relay)
- No paga SLM ni Larga Distancia en sus llamadas sobre IP.

3. MODELOS DE TRÁFICO DE VOZ PAQUETIZADA

3.1 Caracterización del tráfico de Voz

La VoIP y el protocolo H.323 comprenden una serie de estándares y se apoyan en una serie de protocolos que cubren los distintos aspectos de la comunicación:

3.1.1 Direccionamiento

- RAS (Registration, Admission and Status): Protocolo de comunicaciones que permite una estación H.323 localizar otra estación H.323 a través del Gatekeeper.
- DNS (Domain Name Service): Servicio de resolución de nombres en direcciones IP con el mismo fin que el protocolo RAS pero a través de un servidor DNS.

3.1.2 Señalización

- Q.931 Señalización inicial de llamada
- H.225 Control de llamada: señalización, registro y admisión, y paquetización / sincronización del flujo de voz
- H.245 Protocolo de control para especificar mensajes de apertura y cierre de canales para flujo de voz.

3.1.3 Compresión de Voz

- Requeridos: G.711 y G.723
- Opcionales: G.711 y G.723

3.1.4 Transmisión de Voz

- **UDP:** La transmisión se realiza sobre paquetes UDP, pues aunque UDP no ofrece integridad en los datos, se aprovecha más el ancho de banda que don TCP.
- **RTP** (*Real Time Protocol*): Maneja los aspectos relativos a la temporización, marcando los paquetes UDP con la información necesaria para la correcta entrega de los mismos en recepción.

3.1.5 Control de la transmisión

- **RTPC** (*Real Time Control Protocol*): Se utiliza principalmente para detectar situaciones de congestión de la red y tomar acciones correctoras.

Figura 19. Pila de protocolos en VoIP



Fuente: M. Taschdjian, **Real Time Control Protocol**, página 88.

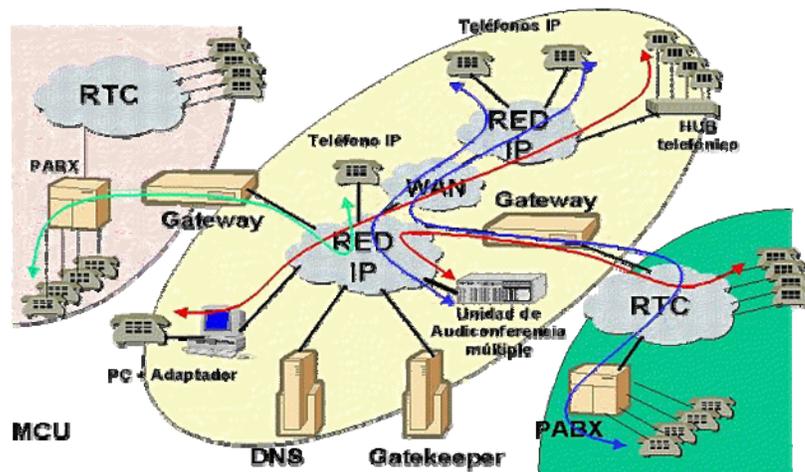
Hasta ahora sólo se ha visto la posibilidad de utilizar la red IP para conectar centrales, pero el hecho de que VoIP se apoye en un protocolo de nivel 3, como es IP, nos permite una mayor flexibilidad en las configuraciones.

Una idea que parece inmediata es que el papel tradicional de la central telefónica quedaría distribuido entre los distintos elementos de la red VoIP. En este escenario, tecnologías como CTI (computer-telephony integration) tendrán una implantación mucho más simple.

Se cuentan actualmente que elementos disponibles que nos permiten construir aplicación de VoIP los cuales son:

- Teléfonos IP
- Adaptadores para PC
- Hubs Telefónicos
- Gateways (pasarelas RTC / IP)
- Gatekeeper
- Unidades de audio conferencia múltiple (MCU Voz)
- Servicios de Directorio

Figura 20. Elementos de una red VoIP



Fuente: M. Taschdjian, **Real Time Control Protocol**, página 100.

Las funciones de los distintos elementos son fácilmente entendibles a la vista de la figura anterior, si bien merece la pena recalcar algunas ideas.

- El Gatekeeper es un elemento opcional en la red, pero cuando está presente, todos los demás elementos que contacten dicha red deben hacer uso de este. Su función es la de gestión y control de los recursos de la red, de manera que no se produzcan situaciones de saturación de la misma.
- El Gateway es un elemento esencial en la mayoría de las redes pues su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI. Podemos considerar al Gateway como una caja que por un lado tiene un interfase LAN y por el otro dispone de uno o varios de los siguientes interfaces:
 - FXO: Para conexión a extensiones de centrales ó a la red telefónica básica.
 - FXS: Para conexión a enlaces de centrales o a teléfonos analógicos.
 - E&M: Para conexión específica a centrales.
 - BRI: Acceso básico RDSI (2B+D).
 - PRI: Acceso primario RDSI (30B+D).
 - G703/G.704 (E&M digital): Conexión específica a centrales a 2 Mbps.

Los distintos elementos pueden residir en plataformas físicas separadas, o nos podemos encontrar con varios elementos conviviendo en la misma plataforma. De este modo es bastante habitual encontrar juntos Gatekeeper y Gateway. También podemos ver en la figura cómo Cisco ha implementado las funciones de Gateway en el router.

Un aspecto importante a reseñar es el de los retardos en la transmisión de la voz. Hay que tener en cuenta que la voz no es muy tolerante con estos. De hecho, si el retardo introducido por la red es de más de 300 milisegundos, resulta casi imposible tener una conversación fluida. Debido a que las redes de área local no están preparadas en principio para este tipo de tráfico, el problema puede parecer grave. Hay que tener en cuenta que los paquetes IP son de longitud variable y el tráfico de datos suele ser a ráfagas. Para intentar obviar situaciones en las que la voz se pierde porque tenemos una ráfaga de datos en la red, se ha ideado el protocolo RSVP, cuya principal función es trocear los paquetes de datos grandes y dar prioridad a los paquetes de voz cuando hay una congestión en un router. Si bien este protocolo ayudará considerablemente al tráfico multimedia por la red, hay que tener en cuenta que RSVP no garantiza una calidad de servicio como ocurre en redes avanzadas tales como ATM que proporcionan QoS de forma estándar.

3.2 Protocolos de Control de VoIP

Uno de los protocolos que todos pensaron que lograría la unificación del mundo de la telefonía IP sobre redes de datos fue el H.323, pero existen aspectos que impiden su aplicación universal los cuales son la ausencia de una interfaz de red a red y un mecanismo de control de congestión. Por tanto es probable que H.323 quede relegado al mundo del video y ceda su lugar a los protocolos MGCP(Control de Compuertas para Medios) y SIP (Protocolo de Inicio de Sesión).

El MGCP fue concebido por un grupo conocido actualmente como el Consorcio Internacional Softswitch. Este grupo comenzó a trabajar en principio con las empresas Level 3 y Telcordia. A mediados de 1998, Level

3 creó un consejo de consultoría técnica, que publicó un protocolo llamado IDPC(Protocolo de Internet para el Control de Dispositivos). Telcordia creó el SGCP(Protocolo Sencillo de Control de Compuerta). Los Protocolos fueron unificados surgiendo así el MGCP. Mientras tanto Lucent Technologies sometió a consideración un tercer protocolo llamado MDCP(Protocolo de Control de Medios y Dispositivos), de todas esas corrientes surgió un nuevo protocolo mejorado llamado MeGaCo.

El protocolo MeGaCo puede reemplazar al modelo H.323 utilizado en muchas de las pruebas de servicios de voz sobre IP, pues absorbe toda la complejidad de la red de telefonía pública en el extremo de la red del proveedor de servicio mediante el control de numerosas compuertas en una oficina central IP.

Por último tenemos el protocolo SIP que fue diseñado para integrar la voz a las infraestructuras IP y permite la separación de las tramas de la red de las capas de creación de servicio.

CONCLUSIONES

1. El protocolo IP fue diseñado para el establecimiento de una red de datos.
2. Las llamadas de VoIP se pueden instalar a través de Internet y tiene la ventaja de tener costos más bajos que las llamadas de voz tradicionales.
3. La Telefonía IP da una mejor productividad, flexibilidad y comunicación entre las empresas.
4. Los sistemas de conmutación de circuitos son ideales para comunicaciones que requieren que los datos o información puedan ser transmitidos en tiempo real.

RECOMENDACIONES

1. Las empresas deberían hacer el cambio a telefonía IP, ya que se tiene un ahorro en costos de operación, mejora la productividad de los sistemas.
2. Se puede implementar la Tecnología IP en empresas basadas en Atención al Cliente para aplicaciones empresariales como: centros de contacto para clientes, mensajería unificada (correspondencia, voz, email, etc.)
3. Cambio de sistemas tradicionales de telefonía a VoIP en un proceso paulatino para no incurrir en mayores gastos de producción de las empresas, lo cual se vera reflejado en ahorro de costos a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Calahan, Donald. **Computer-Aided network Design**. Editorial McGraw-Hill. Nueva York. 1972.
2. Spence, Robert. **Linear Active Networks**. Nueva York. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1970.
3. Mayeda, Wataru. **Graph Theory**. Nueva York. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1972.
4. TANNENBAUM, A. **Computer Networks**. Prentice-Hall. 2003. 4ª Ed.
5. Contaner, David. **Conmutación de Circuitos**. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1999.
6. Parames, G. **Dimensionado de Redes Móviles de Segunda Generación y su Aplicación en Modelos de Costos**, Editorial McGraw-Hill. México. 2003.