

4. Capítulo 4: Comunicaciones a través de redes conmutadas

Para la transmisión de datos más allá de un área local, la comunicación generalmente se logra transmitiendo datos desde el origen al destino a través de una red de nodos de conmutación intermedios.

Los nodos de conmutación no se preocupan por el contenido de los datos; más bien, su propósito es proporcionar las facilidades de conmutación para moverlos de un nodo a otro hasta que lleguen a su destino. La Figura 4.1 muestra una red simple. Los dispositivos conectados a la red pueden denominarse estaciones. Las estaciones pueden ser computadoras, terminales, teléfonos o cualquier dispositivo de comunicación. La red a su vez está compuesta por los dispositivos de conmutación (nodos), cuyo propósito es proporcionar comunicación entre las estaciones. Los nodos están conectados entre sí en alguna topología mediante enlaces de transmisión. Cada estación se conecta a un nodo, y el conjunto de nodos se conoce como red de comunicaciones.

En una red de comunicación conmutada, los datos ingresan a la red desde una estación y luego se enrutan al destino “saltando” entre los nodos.

Se utilizan dos tecnologías diferentes en redes conmutadas de área amplia: conmutación de circuito y conmutación de paquetes. Estas dos tecnologías difieren en la forma en que los nodos intercambian información desde un enlace a otro durante el camino que debe recorrer el dato desde la fuente a destino.

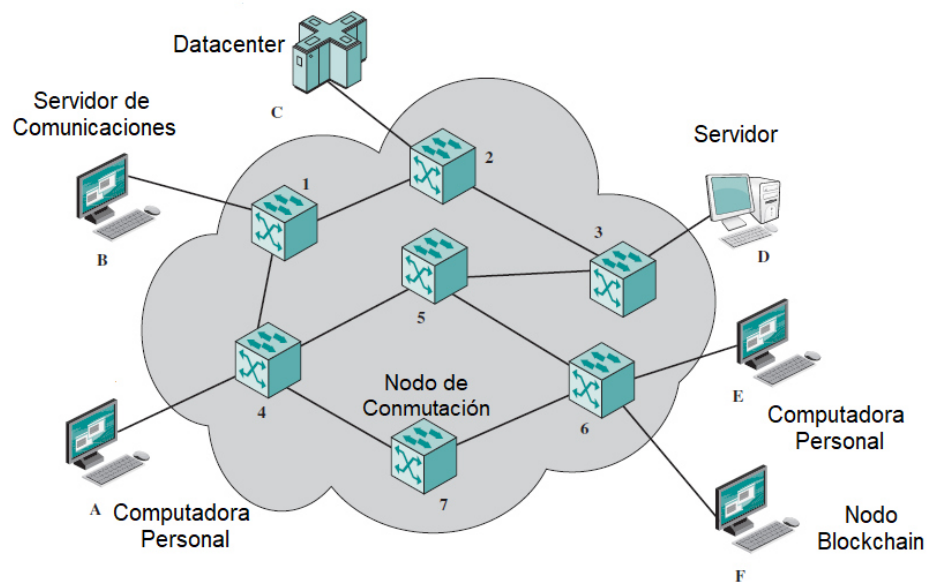


Figura 4.1: Red conmutada

4.1. Conmutación de Circuitos

La versión más general de una red de conmutación de circuitos es aquella cuya topología es similar a la de la red de comunicación de una WAN; es decir, está compuesta por nodos conmutadores de circuitos interconectados a través de enlaces. Un ejemplo de red de conmutación de circuitos es la red telefónica pública que provee el servicio mediante switches o conmutadores telefónicos interconectados a través del sistema de transmisión de la red de comunicación.

En la Figura 4.1.1 se muestra un esquema de red de conmutación de circuitos. El camino dedicado en esta red consiste en una secuencia de enlaces conectados entre los nodos, dedicándose en cada enlace físico, un canal lógico exclusivo para la conexión. La conexión entre dos dispositivos de usuario así lograda es de tipo punto a punto y transparente¹.

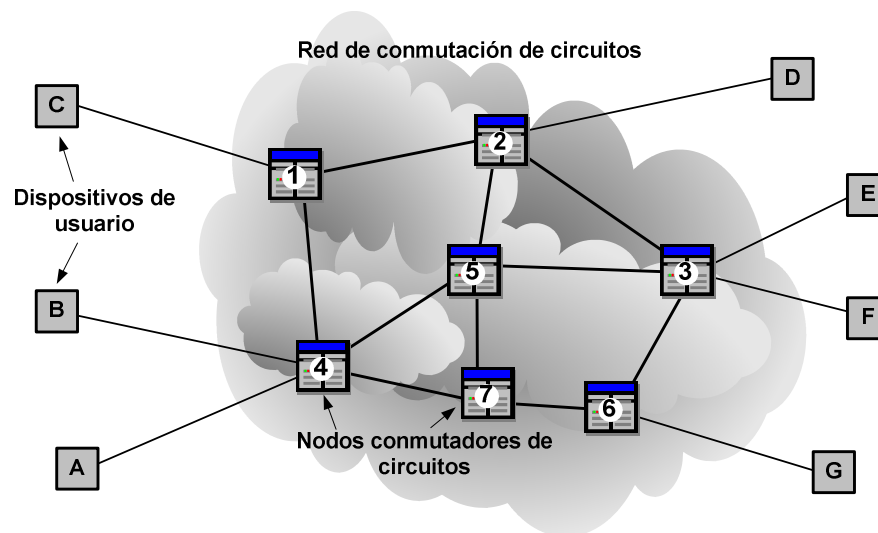


Figura 4.1.1: Conmutación de circuitos

En una red con múltiples dispositivos de usuarios conectados, cada enlace consta normalmente de varios canales, donde cada canal es exclusivo para una dada conexión establecida.

La comunicación que se establece mediante la conmutación de circuitos se puede dividir en tres fases bien diferenciadas que se explican a continuación:

1. Establecimiento del circuito. Antes de transmitir señal alguna, debe establecerse un circuito extremo a extremo; es decir, debe establecerse una conexión física punto a punto transparente entre los dos dispositivos en los extremos. Por ejemplo, en la figura 4.1, el dispositivo de usuario A envía una solicitud al nodo 4 solicitando una conexión con el dispositivo E. Normalmente, el enlace entre A y 4 es una línea dedicada, por lo que esa parte de la conexión existe y es permanente. El nodo 4, en

¹ Conexión punto a punto: está disponible exclusivamente para los dos dispositivos en los extremos, mientras está activa. Conexión transparente: es libre de protocolos, es decir, el enlace se limita a transportar las señales enviadas a una dada velocidad.

cambio, debe encontrar el siguiente enlace en la ruta que le permita alcanzar el nodo 3.

Haciendo uso de la información de ruteo [2] el nodo 4 selecciona el enlace hacia el nodo 5, reserva un canal libre del enlace que le provee el sistema de transmisión y envía un mensaje a E solicitando la conexión. Tras esto queda establecido un camino dedicado desde A hasta 5 a través de 4.

Dado que pueden existir varios dispositivos de usuario conectados al nodo 4, éste debe ser capaz de establecer rutas internas desde varios dispositivos a múltiples nodos. El resto del proceso es similar al descrito, el nodo 5 reserva un canal hasta el nodo 3 y vincula internamente este canal con el que viene desde el nodo 4 y solicitado por A. El nodo 3 completa la conexión con E, para lo cual testea si E está ocupado o, por el contrario, se encuentra listo para aceptar la conexión.

1. Transferencia de datos. Una vez establecido el circuito se puede transmitir la información desde A hasta E a través de la red. Los datos pueden ser enviados a través señales analógicas o digitales dependiendo de la naturaleza de la red. Debido a la tendencia actual de migración hacia redes digitales completamente integradas, la utilización de transmisiones digitales, tanto de voz como de datos, se está convirtiendo en el modo de comunicación predominante. El camino del ejemplo descrito está constituido por el enlace A-4, conmutación interna en 4, canal 4-5, conmutación interna en 5, canal 5-3, conmutación interna en 3 y el enlace 3-E. Normalmente, la conexión es full duplex.
2. Desconexión del circuito. Luego de la fase de transferencia de datos, la conexión es finalizada por orden de alguna de las dos estaciones involucradas. Las señales de desconexión se deben propagar a los nodos 4, 5 y 3 para que estos liberen los recursos dedicados a la conexión que se libera.

4.1.1. Características de la Conmutación de Circuitos

De acuerdo a lo descrito, la comunicación a través de una red de circuitos conmutados tiene las siguientes características:

1. Conmutadores Inteligentes: debido a que la conexión es establecida antes de comenzar la transmisión de los datos, se hace necesario que la red satisfaga los dos requisitos siguientes:
 - En los enlaces entre cada par de nodos, a lo largo de la ruta, debe reservarse una capacidad (canal) destinada exclusivamente a la conexión.
 - Cada nodo debe ser capaz de realizar la conmutación interna para establecer la conexión solicitada.
2. Eficiencia relativa en el uso del canal: cuando se transmite voz hay una eficiencia de uso del canal que va desde lo moderada a alta. Cuando se transmite datos, la eficiencia del uso del canal es baja.

3. Retardo bajo. Existe un retardo previo en la transferencia de las señales debido al tiempo que lleva el establecimiento de la conexión. No obstante, una vez establecido el circuito a través de la red la conexión es transparente para los usuarios. La información se transmite a una velocidad fija sin otro retardo que el debido a la propagación de señales a través de los enlaces de transmisión, siendo despreciable el retardo introducido por cada nodo de la ruta.

4.1.2. Aplicaciones de la Conmutación de Circuitos

La tecnología de conmutación de circuitos se desarrolló para las aplicaciones de tráfico de voz. Uno de los aspectos clave del tráfico de voz es que no debe haber prácticamente retardo en la transmisión ni variaciones del retardo en el mismo. La velocidad de transmisión de la señal se debe mantener constante, ya que, tanto la emisión como la recepción se realizan a la misma velocidad. Estos requisitos son necesarios para permitir una conversación humana normal. Es más, la calidad de la señal debe ser lo suficientemente elevada para proporcionar una inteligibilidad razonable.

Telefonía Pública

El mejor ejemplo conocido de una red de conmutación de circuitos es el de la red de telefonía pública, también conocida como PSTN (Public Switched Telephone Network), cuyo esquema se muestra en la Figura 4.1.1.1. Puede tratarse de una única red de alcance nacional, a su vez compuesta de redes de alcances regionales o provinciales, todos interconectados. Por otra parte, toda la red cuenta con conexión internacional.

La telefonía pública fue ideada e implementada a principios del siglo XX para proveer un servicio de telefonía analógica a los usuarios. En la actualidad opera, además, con tráfico de datos digitales vía módem y está siendo convertida progresivamente en una red digital. Los accesos de usuario están constituidos por una amplia mayoría de líneas analógicas y sólo una baja proporción por líneas digitales. En cambio, en el ámbito interno de la red, los switches telefónicos como, así también, la transmisión de datos entre éstos, se han digitalizado totalmente. Cabe recordar que en una red pública los switches telefónicos se comunican a través del backbone del sistema de transmisión.

Telefonía Privada

Otra aplicación bien conocida de la conmutación de circuitos son las centrales privadas o PBX usadas para intercomunicar los teléfonos dentro de un edificio u oficina. Una institución con varias sedes en distintos puntos geográficos puede utilizar varias PBX (una en cada punto) e interconectarlas formando una red privada. Los enlaces entre las PBX pueden ser de propiedad de la institución o alquilados a un prestador público como, por ejemplo, Telecom o Telefónica en Argentina.

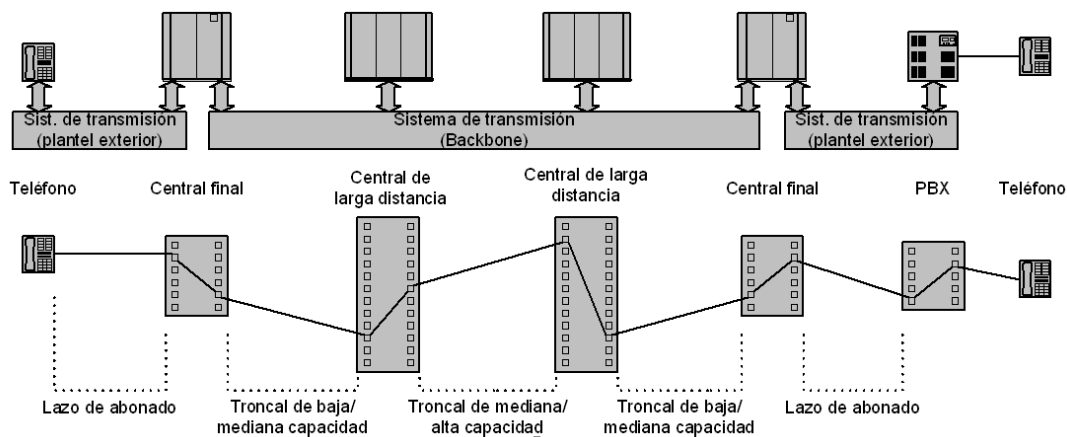


Figura 4.1.1.1: Elementos de una red de telefonía pública

Transmisión de Datos

Un último ejemplo de aplicación de la conmutación de circuitos es en la comunicación de datos. El equipo que la realiza es similar a una PBX, pero en este caso se interconectan dispositivos de procesamiento de datos digitales tales como terminales y computadores. Este tipo de dispositivo no tiene un uso extendido. Si bien es cierto se usa muy poco la conmutación de circuitos para la transmisión de datos, es oportuno destacar que esta presenta limitaciones siendo, la más importante, su baja eficiencia a pesar de la elevada cantidad de recursos que se requiere comprometer para mantener un canal dedicado durante la conexión. Es particularmente ineficiente en la transmisión de datos de archivos debido a que el tráfico de los mismos es en forma de ráfagas con largos períodos de desocupación de la línea. Un tráfico similar ocurre en la conexión de un terminal con un computador central.

4.1.3. Red Telefónica Pública

La red de telefonía pública tiene una estructura jerárquica que coincide en general con la jerarquía del sistema de transmisión de la red de comunicación pública. Esta coincidencia se debe a que la topología y capacidad de transporte de los datos en el sistema de transmisión se proyecta de acuerdo a las necesidades de comunicación que tienen los usuarios en los distintos puntos geográficos. Aún en la actualidad el tráfico de voz tiene la mayor incidencia en el tráfico total de datos de los usuarios, de allí la coincidencia de las jerarquías mencionadas.

La arquitectura de la red de telefonía pública está formada por cuatro componentes básicos cuya denominación y funciones se exponen a continuación:

1. Abonados: Son los dispositivos de usuario que se conectan a la red. Algunos de los dispositivos de abonado conectados a la red telefónica continúan siendo los teléfonos (en muchos otros casos, en la actualidad son los modem/routers).
2. Lazo local: Es el acceso de usuario a la red, también denominado línea de abonado. El conjunto de lazos locales telefónicos forma parte del plantel

exterior de la red de comunicación pública. En casi todas las conexiones de lazo local se usa el cable de par trenzado (UTP); en mucha menor proporción (para conexiones E1/T1 o superior) se usa el cable coaxial y fibra óptica. La longitud típica del lazo local es de pocos kilómetros (alrededor de 5 Km), pudiendo llegar en algunos casos hasta varias decenas de kilómetros, para lo cual se requiere el uso de amplificadores, u otro tipo de enlace.

3. Centrales: Son switches telefónicos encargados de conmutar los pedidos de conexión de los usuarios. Los switches que conectan abonados se denominan centrales finales. Generalmente, una central final da servicio a varios de miles de abonados en un área geográfica localizada como, por ejemplo, un sector de una ciudad, un barrio o una población pequeña. En un país, existen normalmente, varios miles de centrales finales, por lo que es claramente imposible en la práctica la existencia de un enlace directo entre cada par de centrales finales cualesquiera. Por ejemplo, un número típico de centrales finales en un país es 20.000, para este valor se requerirían del orden de 2×10^8 enlaces entre pares de centrales. Para salvar este problema se utilizan nodos de conmutación intermedios, donde cada nodo conecta a varias centrales finales. A su vez, varios de estos nodos se pueden conectar a un nodo de mayor jerarquía, y así sucesivamente. Es común que un nodo de un nivel dado, normalmente, se conecte a uno o más nodos del nivel superior mediante enlaces redundantes por razones de confiabilidad. A modo de ejemplo, en la Figura 4.3 se muestra una estructura jerárquica de tres niveles del sistema telefónico, en donde los nodos en forma de hexágonos son los de mayor capacidad de conmutación. Los nodos en forma de triángulos, son los de mediana capacidad de conmutación, a los que conectan centrales finales que están representadas con círculos.
4. Líneas Troncales: Son los enlaces entre centrales que provee el sistema de transmisión de la red de comunicación pública (Figura 4.1.2.1). Las líneas troncales transportan varios canales de voz haciendo uso de TDM sincrónica y tienen distintas capacidades que responden a la jerarquía E1/T1 estudiada en el Capítulo 2. En la actualidad se encuentra implementado en la mayoría de los países un soporte tecnológico digital en fibra óptica que realiza el transporte de todo tipo de datos (voz, datos, video) que es el backbone del sistema de transmisión de la red de comunicación pública.

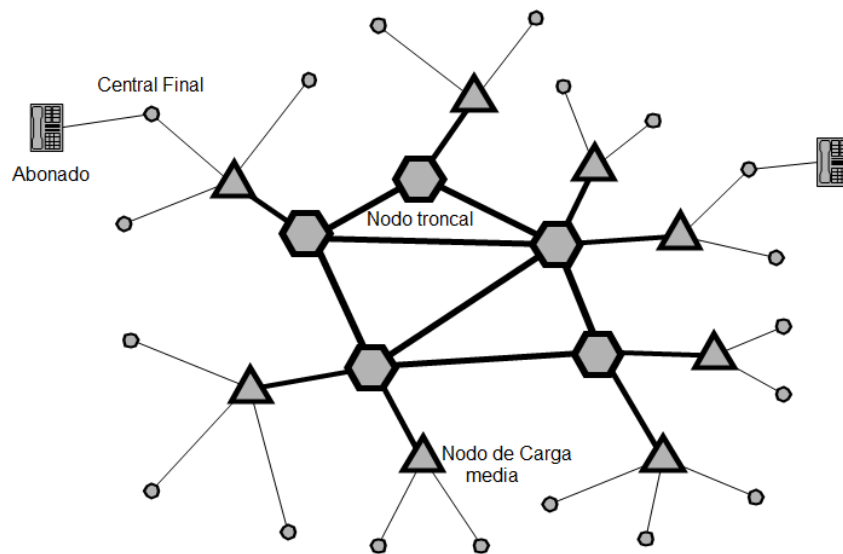


Figura 4.1.2.1: Arquitectura de un servicio de telefonía pública

Establecimiento de la Conexión en el Sistema Telefónico Público

Los abonados de la red telefónica pública se conectan directamente a una central final. Una central final tiene capacidad de establecer conexión tanto entre abonados de la misma, como entre éstos y abonados de otras centrales finales. Ambas posibilidades se muestran en la Figura 4.1.2.2:

- Abonados conectados a una misma central final. En el establecimiento del circuito (conexión) solo interviene la central final de los abonados. Este caso se muestra en la Figura 4.1.2.2 para las líneas A y B.
- Abonados conectados a centrales finales diferentes. La conexión entre ellos estará constituida por una concatenación de circuitos a través de uno o más conmutadores intermedios, que se muestra en la Figura 4.1.2.2 con las líneas C y D. En este caso la central final debe establecer una conexión entre la línea C y un canal reservado con este fin en el troncal TDM al conmutador intermedio. Éste, a su vez, debe reservar un canal en el troncal que lo conecta a la central final de D. En esta central final, el canal se conecta con la línea D y así se completa la conexión entre C y D.

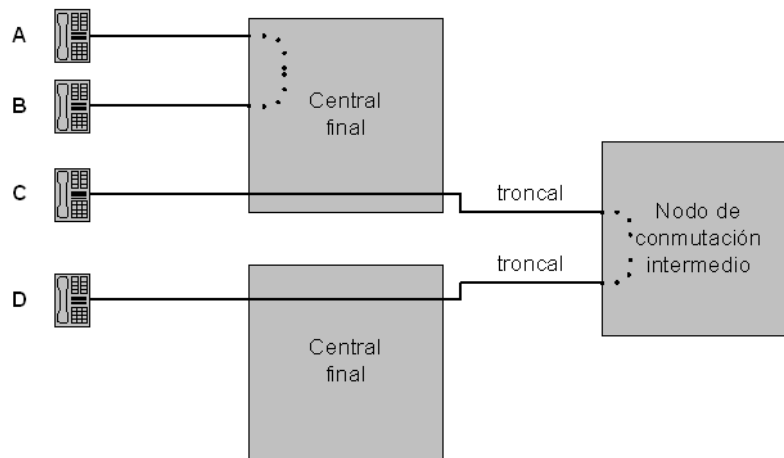


Figura 4.1.2.2: Establecimiento del circuito entre abonados

4.1.4. El Conmutador de Circuitos

Para comprender mejor la tecnología de conmutación de circuitos, se considerará un ejemplo en el que estudiará el funcionamiento de un nodo de conmutación de circuitos. Una red diseñada en torno a un único nodo de conmutación consiste en un conjunto de dispositivos de usuario conectados a una unidad central de conmutación, como es el caso de un conjunto de teléfonos conectados a una central telefónica. El conmutador central es el encargado de establecer un canal dedicado entre dos dispositivos cualesquiera que deseen comunicarse. En la Figura 4.1.4.1 se muestran los elementos principales de una red compuesta por un único nodo de conmutación de circuitos. Las líneas discontinuas dentro del conmutador simbolizan las conexiones que se encuentran activas en un momento dado.

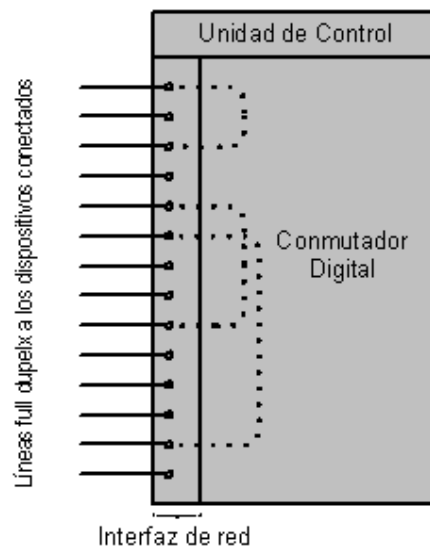


Figura 4.1.4.1: Elementos de un nodo de conmutación de circuitos

Nodo de Conmutación Digital

La implementación práctica de un nodo de conmutación de circuitos actual se realiza en base al uso de técnicas digitales, siendo sus elementos los siguientes:

1. Conmutador digital: Es la parte central de todo nodo conmutador de circuitos moderno y su función es proporcionar una ruta directa y transparente entre dos dispositivos cualesquiera. Dicha conexión debe permitir, además, una transmisión full duplex.
2. Interfaz de red: Incluye las funciones de capa de enlace y el hardware necesario para conectar dispositivos de usuario digitales a la red, tales como equipos de procesamiento de datos y teléfonos digitales. Los teléfonos analógicos también pueden conectarse; pero para ello, la interfaz de red debe tener capacidad para convertir la señal analógica de entrada en digital, es decir, debe contener un codec. La interfaz de red también incluye los troncales a otros conmutadores. Como se vio en el Capítulo 2, estos troncales transportan señales TDM y facilitan los canales para la construcción de redes de varios nodos. De esta manera el nodo realiza la conmutación de los canales de un troncal como si fueran líneas físicas individuales que conectan teléfonos.
3. Unidad de control. Realiza tres tareas específicas:
 - ✓ Establecimiento de la conexión. Esta es la primera función que se realiza generalmente bajo demanda; es decir, ante la solicitud de un dispositivo conectado a la red. Para establecer la conexión, la unidad de control debe confirmar la petición y gestionarla, determinar si la estación de destino está libre e instruir al conmutador digital la construcción de una ruta entre los dos dispositivos.
 - ✓ Mantenimiento de la conexión. Dado que el conmutador digital usa una aproximación por división en el tiempo, esta segunda tarea puede necesitar un control continuo de los elementos de conmutación. No obstante, los bits de datos puros se transfieren de forma transparente, desde el punto de vista de los dispositivos del nodo.
 - ✓ Liberación de la conexión. Esta tarea se realiza tanto en respuesta a una solicitud generada por uno de los dispositivos o por razones propias del conmutador.

El nodo de conmutación digital forma parte de una red de conmutación de circuitos digital. Una característica importante de una red de conmutación de circuitos, es si la misma es bloqueante o no bloqueante:

1. Configuración bloqueante. Una red bloqueante es aquella en la que es posible el bloqueo. El bloqueo ocurre cuando en un momento dado la red no tiene capacidad para conectar a dos estaciones debido a que todos los posibles caminos entre ellas están siendo utilizados. La configuración bloqueante resulta generalmente aceptable cuando una red sólo admite tráfico de voz, ya que se espera que la mayor

parte de las llamadas telefónicas sean de corta duración y, por lo tanto, sólo una fracción de todos los teléfonos esté ocupada todo el tiempo.

2. Configuración no bloqueante. Una red no bloqueante se caracteriza porque permite que todas las estaciones se conecten de a pares simultáneamente; es decir, garantiza el servicio a todas las solicitudes de conexión posibles, siempre que el destino esté libre. Se usa, por ejemplo, en conexiones de datos en que los terminales pueden estar continuamente conectados a un computador durante horas. Por lo tanto, para aplicaciones de datos se necesita una configuración no bloqueante o cuasi no bloqueante; es decir, con una probabilidad de bloqueo muy baja.

4.1.5. Técnicas de conmutación internas en un nodo de conmutación de circuitos

La tecnología de la conmutación tiene una historia de alrededor de 100 años que comienza con la era analógica. Los primeros conmutadores de circuitos se basaron en la técnica de conmutación por división en el espacio y se implementaron con elementos electromecánicos. El desarrollo posterior de la tecnología digital y la técnica de multiplexión por división en el tiempo sincrónica permiten la transmisión de voz y de datos mediante señales digitales. Esto ha dado lugar a un cambio drástico en el diseño de los sistemas de conmutación de circuitos, a tal punto que virtualmente todos los conmutadores de circuitos modernos emplean técnicas por división en el tiempo para el establecimiento y el mantenimiento de los circuitos.

Conmutación por División en el Tiempo

En términos generales, la conmutación por división en el tiempo consiste en la fragmentación de una cadena de bits a una dada velocidad en segmentos que compartirán una secuencia de velocidad superior con otras cadenas de bits. Los fragmentos individuales o ranuras, son manejados por la lógica de control con el fin de encaminar los datos desde cada entrada hacia la salida correspondiente. Existen distintas variantes dentro de este concepto básico, siendo una de las más difundidas la utilizada por el Conmutador de Bus TDM, la cual se desarrolla a continuación.

Conmutador de Bus TDM

En la sección 4.1.4 se describieron las funciones de los distintos elementos componentes de un nodo de conmutación digital y, entre ellos, la del conmutador digital cuya función principal es la de proveer un camino dedicado y transparente a varios pares de dispositivos simultáneamente. Una de las técnicas más usadas en la realización de estas funciones es la conmutación de bus TDM, y por ello se la trata aquí.

La conmutación de bus TDM, y de hecho todas las técnicas de conmutación digital, se fundamenta en la utilización de la multiplexión por división en el tiempo sincrónica (TDM). Esta técnica permite que varias entradas digitales de baja velocidad compartan una única línea de alta velocidad entre el MUX y el DEMUX, quién conecta igual número de líneas de salida. Se puede considerar a una entrada como una secuencia

de muestras en serie, donde cada muestra puede ser uno o más bits. En un momento dado se leen las muestras de cada entrada al MUX y se organizan para formar una trama en la línea de salida, ocupando los bits de cada muestra una ranura de tiempo en dicha trama. El DEMUX se encarga de distribuir en cada línea de salida las muestras correspondientes de las ranuras de la trama.

El estudio del funcionamiento de un conmutador de bus TDM se realizará comenzando con un modelo ideal y simplificado. Luego, progresivamente, se irá completando este modelo inicial hasta llegar al funcionamiento de un conmutador real.

Modelo Ideal: Bus TDM como si fuera un MUX TDM y sin Retardo de Propagación en el Bus

1. Transmisión en Sentido Único (Half Duplex)

Considérese un conmutador de cualquier número de líneas de entrada que en determinado momento sólo tiene conectados “n” pares de líneas. En cada par, por una línea sólo ingresan datos digitales y por la otra sólo salen esos datos. Esta función puede ser realizada por un MUX TDM con n líneas de entrada y n líneas de salida, que se muestra en las partes (a) y (b) de la Figura 4.1.5.1. Se deben remarcar dos cuestiones que son centrales en la multiplexión TDM:

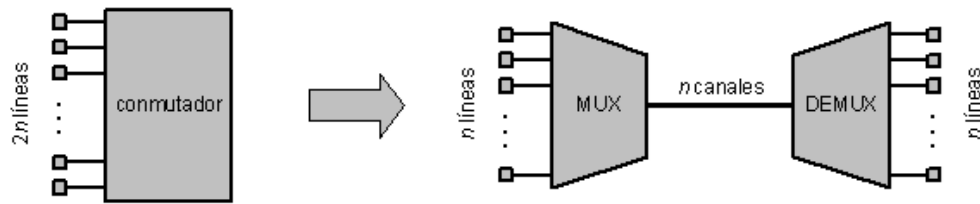
- ✓ Si se considera despreciable el tiempo de lectura en los buffers de entrada, la duración de la trama en la línea de salida del MUX TDM debe ser, como máximo, igual a la duración de la muestra de entrada a fin de evitar superposición y pérdida de datos. Bajo esta condición, la muestra de cada línea de entrada es asignada a una ranura de tiempo en la línea de salida del MUX cuya duración es:

$$\text{Tiempo de ranura} = (\text{tiempo de muestra}) / (\text{número de entradas})$$

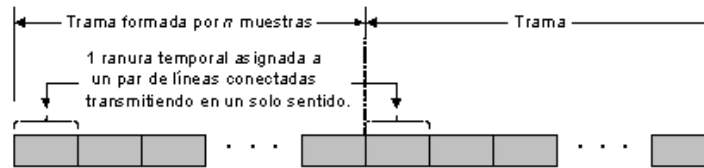
- ✓ Se conocen la línea origen y la línea destino para cada muestra, puesto que la mezcla de muestras en el MUX y la separación de éstas en el DEMUX están sincronizadas. Además, para cada conexión, cuando una muestra de entrada es puesta a la salida del MUX dentro del intervalo de tiempo de una ranura, simultáneamente y durante el mismo tiempo esa muestra es recogida y puesta en la línea de salida correspondiente.

2. Transmisión en ambos sentidos (Full Duplex)

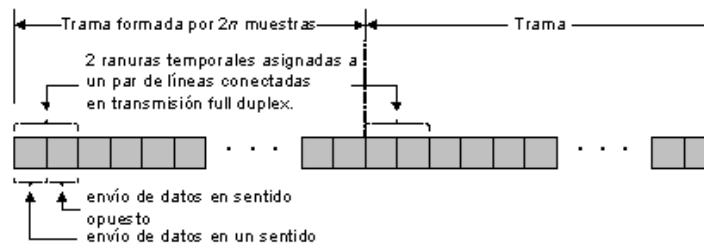
Para lograr una comunicación full duplex con MUX TDM, por cada par de líneas conectadas es necesario transmitir dos muestras en sentidos opuestos: la muestra que va en un sentido ocupará una ranura de tiempo y la muestra que va en sentido opuesto ocupará la otra ranura. Esto indica que el tiempo de cada ranura debe reducirse a la mitad respecto del que se necesita en una transmisión en un solo sentido, puesto que ahora el número total de ranuras es el doble. En la parte (c) de la Figura 4.1.5.1 se muestran dos tramas en una transmisión full duplex.



(a) Funciones equivalentes entre un conmutador de bus TDM y un MUX TDM que mantienen n pares de conexiones dedicadas entre $2n$ líneas.



(b) Trama en una transmisión en un solo sentido.



(c) Trama en una transmisión full duplex.

Figura 4.1.5.1: Analogía entre el Bus TDM y el MUX TDM

Ejemplo 1: Conmutador No bloqueante

Se supone que se desea comunicar mediante transmisión full duplex a 100 dispositivos conectados de a pares mediante un conmutador de bus TDM que sea no bloqueante. Para esto se necesita dimensionar un conmutador de 100 líneas con capacidad para proveer conexión a 50 pares de líneas. Si a cada conexión deben asociarse 2 ranuras de tiempo, se necesitarán 100 ranuras temporales generándose en forma repetitiva.

Una vez dimensionada la cantidad de líneas necesarias, la velocidad del bus de transmisión dependerá de la velocidad con que arriban los datos. Si se supone que cada línea que ingresa al bus lo hace a una velocidad de 19 Kbps, el bus deberá soportar una velocidad de transmisión de 1,9 Mbps. Cualquier velocidad inferior a los 1,9 Mbps va a implicar la pérdida de datos en el buffer de cada una de las líneas conectadas.

Ejemplo 2: Conmutador Bloqueante

Se supone un conmutador que tiene 200 dispositivos conectados de a pares (100 pares de líneas) transmitiendo a 64 Kbps y su bus tiene está implementado para soportar una velocidad de 1,6 Mbps. Este conmutador deberá incluir la inteligencia necesaria rechazar los intentos de conexión en el momento que la línea haya

alcanzado el máximo de su capacidad de transmisión. En este caso se puede deducir que, aproximadamente, sólo la cuarta parte de los dispositivos podrán conectarse en forma simultánea en un momento dado.

Modelo Real: Bus TDM como si fuera un MUX TDM con Retardo de Propagación en el Bus

Cuando comienza una ranura temporal, la línea de entrada habilitada va a ingresar los bits de una muestra en el bus sobre el cual estos se propagarán. Durante este tiempo, la línea de salida habilitada extrae los datos, si es que los hay. Por lo tanto, la duración de la ranura debe ser igual al tiempo de transmisión de la entrada más el retardo de propagación de los datos sobre el bus, desde la entrada hasta la salida. Esta situación se muestra en la Figura 4.1.5.2 para dos líneas conectadas a sendos dispositivos A y B. Para mantener uniforme la duración en el tiempo de las sucesivas ranuras, se define el tiempo de ranura como el tiempo de transmisión más el retardo de propagación de extremo a extremo en el bus.

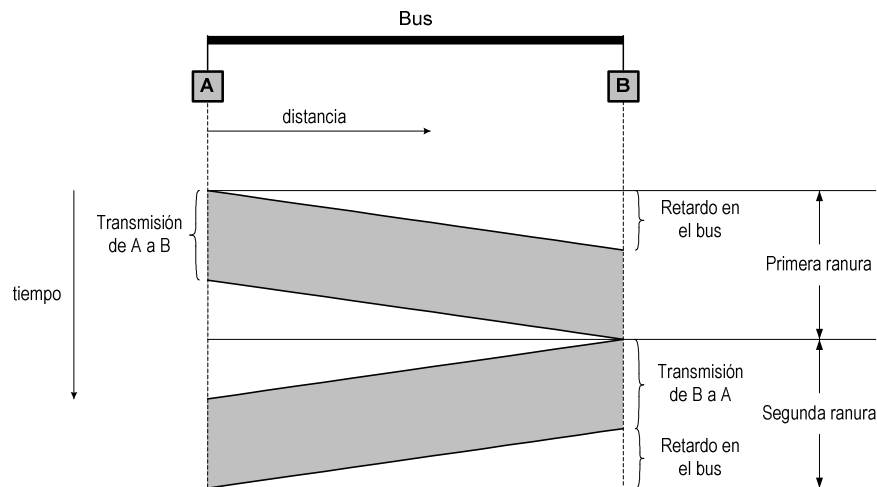


Figura 4.1.5.2: Transmisión full duplex considerando retardos de propagación

Ejemplo 3: Conmutador no Bloqueante con Retardo en el Bus

Considérese un conmutador no bloqueante de 10 líneas, cada una de 1 Mbps y muestras de 16 bits, y con un retardo de propagación en el bus de $0,01\mu s$. Como puede deducirse, la duración de la muestra es de $16\mu s$ y, por lo tanto, ésta también será la duración de la trama que circulará por el bus. Para proveer una comunicación

full duplex las 10 líneas requieren la existencia de 10 ranuras cuya duración será $16/10 = 1,6 \mu s$ cada una. No obstante, debido al retardo existente en el bus, el tiempo que dispone cada línea en una conexión es de sólo $1,6 - 0,01 = 1,59 \mu s$ para ingresar y retirar la muestra del bus sin que haya pérdida de datos.

Modo Real: implementación completa del Bus TDM

Se explicó el funcionamiento de un conmutador de bus TDM, el cual, en un momento dado, tiene un determinado número de pares de líneas conectadas, en analogía al funcionamiento de un MUX TDM. Sin embargo, el conmutador de bus TDM debe cumplir otras funciones, más allá de mantener conexiones fijas de pares de líneas. Un conmutador de bus TDM, como cualquier conmutador de circuitos, debe tener la capacidad de proveer conexión de cualquier línea con cualquier otra (siempre que esté desocupada), de acuerdo al estado que le indique la unidad de control. Es sabido que las conexiones son dinámicas en el tiempo, de forma tal que el estado de las líneas cambia constantemente. En este sentido, las funciones de un conmutador de bus TDM son:

1. En transmisión full duplex, asignar un par de ranuras de tiempo a cada par de líneas cuya conexión ha sido indicada por la unidad de control. El criterio de asignación puede ser, por ejemplo, otorgar la primera ranura a la línea del dispositivo que solicita la conexión y la segunda ranura consecutiva, a la otra línea.
2. Habilitar los puertos de cada par de líneas conectadas durante el tiempo de dos ranuras consecutivas en forma cíclicamente repetitiva. En la tecnología actual de conmutadores de bus TDM, los puertos son controlados por un controlador consistente en un procesador con memoria y software específico para tal función.

Ejemplo 4: Implementación de una Unidad de Control

Se supone un conmutador de bus TDM tiene 6 líneas. El tiempo de propagación en el bus es de $0,01 \mu s$ y cada trama tiene una duración de $30,06 \mu s$. Si el conmutador es no bloqueante, cada trama consistirá de 6 ranuras temporales de $5,01 \mu s$. En la figura 4.1.5.3 se muestra un esquema de este ejemplo. Una memoria de control indica qué par de puertos deben habilitarse durante cada par de ranuras temporales. En este caso se necesitarán 6 palabras de memoria que son los identificadores de puerto. Un procesador sondea la memoria a razón de un ciclo cada $30,06 \mu s$. Durante las dos primeras ranuras temporales de cada ciclo se habilitan el puerto de entrada del dispositivo 1 y el puerto de salida del dispositivo 3, permitiendo así que los datos pasen, a través del bus, del dispositivo 1 al dispositivo 3 y luego del 3 al 1. Las palabras de memoria restantes indican los pares de puertos que siguen en la secuencia y son tratados en consecuencia. Mientras que la memoria de control contenga la información mostrada en la Figura 4.1.5.3 se mantendrán las conexiones entre 1 y 3, entre 2 y 5, y entre 4 y 6.

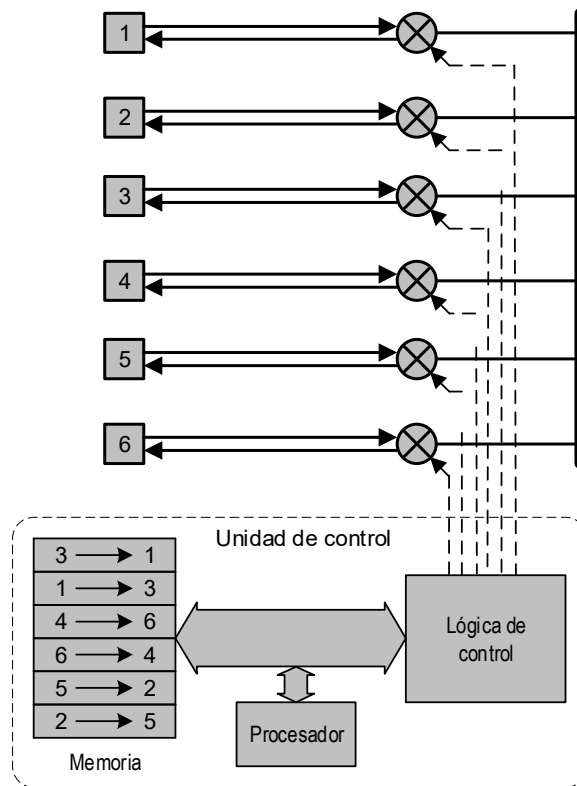


Figura 4.1.5.3: Control en el funcionamiento de un bus TDM

4.1.6. Conmutación por Software (Softswitch)

La última tendencia en el desarrollo de la tecnología de conmutación de circuitos es generalmente conocido como softswitch. En esencia, un softswitch es una computadora de propósito general ejecutando software especializado que la convierte en una central telefónica inteligente. Softswitches cuestan significativamente menos que los conmutadores de circuito tradicionales, pueden proporcionar más funcionalidad y son dispositivos que utilizan estándares abiertos para crear redes integradas de última generación capaces de transportar Voz, Vídeo y datos con gran eficiencia y en las que la inteligencia asociada a los servicios esta desligada de la infraestructura de red

En particular, además de manejar las funciones conmutación de circuitos tradicional, un softswitch puede convertir un flujo de bits de voz digitalizados en paquetes. Esto abre una serie de opciones de transmisión, incluida la de voz sobre IP (Protocolo de Internet).

En cualquier conmutador de red telefónica, el elemento más complejo es el software que controla el procesamiento de llamadas. Este software realiza el enrutamiento de llamadas e implementa la lógica de procesamiento de llamadas para cientos de funciones de llamadas personalizadas. Normalmente, este software se ejecuta en un procesador propietario que está integrado con el hardware del circuito de conmutación. Un enfoque más flexible es separar físicamente la función del procesamiento de llamadas, de la función de conmutación de hardware. En terminología de softswitch, la función física de la

conmutación se realiza mediante un “Media Getaway” (MG) y la lógica del procesamiento de llamadas reside en un controlador “Media Gateway Controller”.

Asterisk es un programa de software libre (bajo licencia GPL) que proporciona funcionalidades de una central telefónica (PBX). Como cualquier PBX, se puede conectar un número determinado de teléfonos para hacer llamadas entre sí dentro de una misma organización e incluso acceder a comunicaciones fuera de la misma a la PSTN o conectando a un proveedor de VoIP.

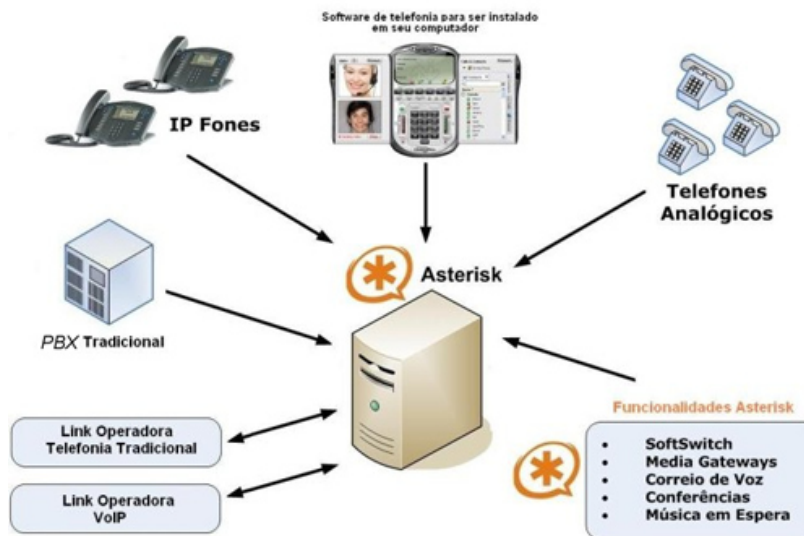


Figura 4.1.6.1: Conmutador de circuitos por software: Asterik

4.1.7. Compendio sobre la Conmutación de Circuitos

- ✓ La conmutación de circuitos se usa en la red telefónica pública y también en redes telefónicas privadas que se conectan a la red pública mediante líneas alquiladas. Ambos tipos de redes (pública y privada) utilizan como nodos conmutadores de circuitos a los denominados switches telefónicos o conmutadores telefónicos o centrales telefónicas. La técnica de conmutación de circuitos se desarrolló para el tráfico de señales de voz; también se utiliza actualmente en el tráfico de datos, aunque en este caso el uso que se hace de los recursos de la red no es el más eficiente.
- ✓ En la conmutación de circuitos se establece un canal de comunicaciones dedicado entre dos estaciones de usuario. Esto significa que se reservan recursos de transmisión y de conmutación de la red para uso exclusivo del circuito mientras dura la conexión. La conexión es transparente; esto es, una vez establecida se comporta como si los dispositivos de usuario estuviesen conectados en forma directa a través de una línea física.
- 4. Diversos aspectos importantes de las redes de conmutación de circuitos han cambiado de forma drástica al crecer la complejidad y digitalización de las redes de

telecomunicaciones públicas. Así, por ejemplo, esquemas simples de ruteo jerárquico han sido reemplazados por otros no jerárquicos más flexibles y potentes. Esto evidencia el cambio adoptado en la arquitectura subyacente, lo cual permite un incremento en la eficiencia y en la flexibilidad.

4.2. Conmutación de Paquetes

La técnica de conmutación de paquetes se desarrolló a mediados de los '70 para ofrecer un servicio más eficiente que el proporcionado por la conmutación de circuitos. Está destinada a la comunicación de datos digitales entre dispositivos de usuario a través de una red. En la conmutación de paquetes, una estación realiza la transmisión de los datos fraccionados en pequeños bloques llamados paquetes (de allí su nombre), donde cada uno contiene una parte de los datos de usuario además de información de control necesaria para el adecuado funcionamiento de la red.

Limitaciones de la Conmutación de Circuitos para la Comunicación de datos

La red de comunicaciones de conmutación de circuitos de larga distancia se diseñó originalmente para el tráfico de voz, la que aún hoy en día es la responsable de la mayor parte del tráfico en estas redes. Una característica fundamental de las redes de conmutación de circuitos es que se dedican recursos internos de la red a una llamada particular. De este modo, para conexiones de voz, el circuito resultante alcanza un alto porcentaje de utilización dado que la mayor parte del tiempo está hablando un extremo o el otro. Sin embargo, a medida que las redes de conmutación de circuitos se fueron utilizando de forma creciente para conexiones de datos de computador, se han puesto de manifiesto dos problemas:

- ✓ Ineficiencia de línea. La característica típica de la comunicación entre computadores y, en general, entre dispositivos que trafican datos digitales, es que la transmisión de los datos se realiza en forma de ráfagas de relativa corta duración, permaneciendo la línea desocupada la mayor parte del tiempo. Por este motivo la técnica de conmutación de circuitos resulta ineficiente para la comunicación de datos, en particular, debido a la cantidad de recursos de red que se deben comprometer para mantener un circuito dedicado (línea directa) entre dos usuarios.
- ✓ Velocidad fija. En una red de conmutación de circuitos la conexión ofrece una velocidad de datos constante, de modo que los dos dispositivos conectados deben transmitir y recibir a la misma velocidad. Esto limita la utilidad de la red para la interconexión de computadores que corren aplicaciones con distintas necesidades de velocidad de transmisión.

4.2.1. Fundamentos de la Conmutación de Paquetes

Para comprender cómo aborda la conmutación de paquetes los problemas señalados anteriormente, es necesario estudiar el modo de funcionamiento de esta técnica

de conmutación. Los datos se transmiten en paquetes cortos, cuya longitud típica no supera los 1.000 bytes. Si un dispositivo emisor tiene que enviar un mensaje de mayor longitud, éste es segmentado en una serie de paquetes, como se muestra en la Figura 4.2.1.1. Cada paquete contiene una parte (o todas en el caso que se trate de un mensaje corto) de los datos de usuario más cierta información de control. Esta información comprende, como mínimo, la información que necesita la red para encaminar el paquete a través de ella y alcanzar el destino deseado. En cada nodo de la ruta, el paquete se recibe, se almacena temporalmente y se envía al siguiente nodo.

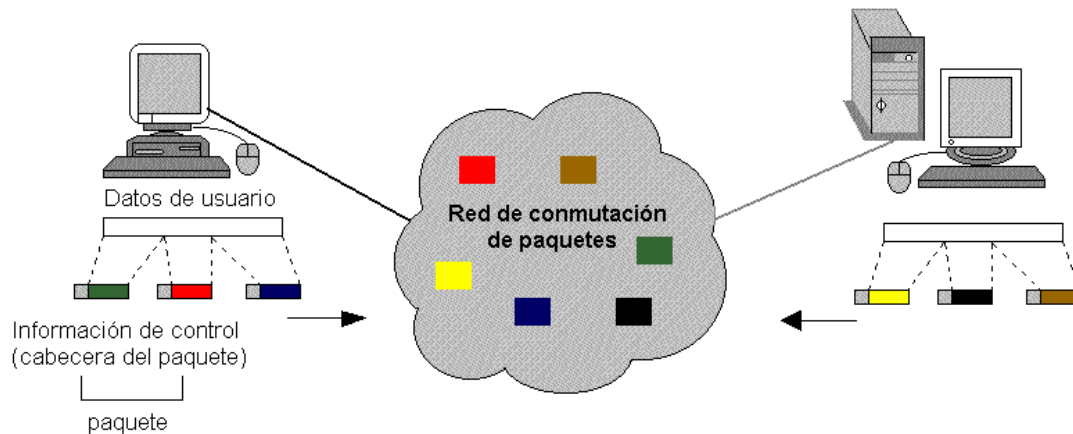


Figura 4.2.1.1: Datos a transmitir divididos en paquetes

Suponga que la red de área extensa de la Figura 4.1 es una red de conmutada por paquetes. En un momento dado se envía un paquete desde la estación A hacia la estación E. El paquete incluirá información de control indicando que el destino es E. El paquete se envía desde A al nodo 4, el cual almacena lo almacena, determina el siguiente nodo en la ruta (por ejemplo, 5) y pone en cola el paquete en dirección a ese enlace (enlace 4-5). Cuando el enlace está disponible, el paquete se transmite hacia el nodo 5, que lo enviará hacia 3, y este, finalmente, hacia E. Esta aproximación presenta varias ventajas frente a la conmutación de circuitos, las que se exponen a continuación:

- ✓ **Eficiencia de línea.** Es superior en la conmutación de paquetes ya que un único enlace entre dos nodos puede ser compartido dinámicamente en el tiempo por varios paquetes. Los paquetes forman una cola y se transmiten sobre el enlace tan rápidamente como lo permite la velocidad del enlace. En cambio, en la conmutación de circuitos la capacidad temporal de un enlace es reservada a priori mediante la utilización de la técnica TDM, por lo que el enlace puede estar desocupado la mayor parte del tiempo dado que una parte de éste se dedica a una conexión sin datos.
- ✓ **Velocidad de los datos.** Una red de conmutación de paquetes puede realizar conversión en la velocidad de los datos. De este modo, cada estación se conecta a su nodo a una velocidad según sus propias necesidades. Por ejemplo, un servidor al que están conectados varios computadores clientes a través de la red, necesitará disponer de mayor velocidad con la red que los clientes.

- ✓ Sobrecargas en la red. Cuando aumenta el tráfico en una red de conmutación de circuitos algunas llamadas pueden bloquearse; es decir, cuando esto ocurre, la red rechaza la aceptación de solicitudes de conexión adicionales mientras no disminuya la carga de la red. En cambio, en una red de conmutación de paquetes éstos siguen aceptándose, si bien aumenta el retardo en la transmisión.
- ✓ Uso de prioridades. La conmutación de paquetes permite el uso de prioridades; de modo que, si un nodo tiene varios paquetes en cola para su transmisión, éste puede transmitir primero aquellos con mayor prioridad. Estos paquetes experimentarían así un retardo menor que los de prioridad inferior.

4.2.2. Técnicas de Conmutación: Datagrama y Circuito Virtual

Si una estación tiene que enviar un mensaje de longitud superior a la del tamaño máximo de paquete permitido a través de una red de conmutación de paquetes, ésta fragmenta el mensaje en paquetes y los envía, de uno en uno, hacia la red. La cuestión que surge es cómo gestiona la red esta secuencia de paquetes para encaminarlos a través de ella y entregarlos en el destino deseado. Existen dos aproximaciones usadas en las redes actuales: datagramas y circuitos virtuales.

Técnica de Datagrama

En la técnica de datagrama cada paquete se trata de forma independiente, sin referencia alguna a los paquetes anteriores. A continuación, se analizan las implicancias de este enfoque. Supóngase que la estación A de la Figura 4.1 tiene que enviar a E un mensaje de tres paquetes. Esta va a transmitir los paquetes 1, 2 y 3 al nodo 4, conteniendo cada uno de ellos la dirección del destino, E en este caso. El nodo 4 debe tomar una decisión de ruteo para cada paquete. El paquete 1 se recibe con destino a E, por lo que el nodo 4 podría enviar este paquete al nodo 5 o al nodo 7 como siguiente paso en la ruta. En este caso, el nodo 4 determina que su cola de paquetes hacia el nodo 5 es menor que la del nodo 7, de manera que pone en cola el paquete hacia el nodo 5. La misma decisión toma para el paquete 2; pero en el caso del paquete 3 el nodo 4 observa que su cola hacia el nodo 7 es ahora más corta y, por lo tanto, envía el paquete 3 a este último nodo. Así pues, aunque todos los paquetes tienen el mismo destino no todos siguen la misma ruta. En consecuencia, puede suceder que el paquete 3 se adelante al paquete 2, e incluso al 1, en el nodo 6. De esta forma, es posible que los paquetes se reciban en E en orden distinto al que se enviaron, siendo tarea de esta estación su reordenamiento.

También es posible que un paquete se destruya en la red. Por ejemplo, si un nodo conmutador de paquetes cae momentáneamente, pueden perderse todos los paquetes existentes en sus colas. Si esto sucediese con uno de los paquetes del ejemplo en consideración, el nodo 6 no tiene forma de saber que se ha perdido uno de los paquetes de la secuencia. De nuevo, es misión de E detectar la pérdida de un paquete y ver la forma de recuperarlo. Cuando se usa la técnica descrita en la que cada paquete es tratado en forma independiente del resto, el paquete se denomina datagrama.

Técnica de Circuito Virtual

En la técnica de circuito virtual se establece una ruta previa al envío de los paquetes. Por ejemplo, supongamos que A de la Figura 4.1 tiene uno o más mensajes que enviar a E. Ésta primero va a enviar un paquete especial de control, llamado “Petición de Llamada” (Call Request) hacia el nodo 4 solicitando una conexión lógica a E. El nodo 4 decide encaminar la solicitud y todos los paquetes siguientes hacia 5, quién a su vez decide dirigirlos hacia 3, el cual envía finalmente el paquete “Petición de Llamada” a E. Si esta estación acepta la conexión, envía un paquete “Llamada Aceptada” (Call Accept) a 3. Este paquete se envía a A a través de los nodos 5 y 4. A partir de este momento las estaciones A y E pueden intercambiar datos sobre la ruta establecida. Dado que el camino es fijo mientras dura la conexión lógica, éste es similar a un circuito en redes de conmutación de circuitos y se le llama circuito virtual. Además de los datos de usuario, cada paquete contiene un identificador de circuito virtual en lugar de una dirección de destino. Cada nodo de la ruta preestablecida sabe hacia dónde dirigir los paquetes, no precisándose la toma de decisiones de encaminamiento. Así, cada una de los paquetes de datos de A a E atraviesa los nodos 4, 5 y 3, mientras que los paquetes de E hacia A pasan por los nodos 3, 5 y 4. Eventualmente, una de las estaciones finaliza la conexión con un paquete “Petición de Liberación” (Clear Request). Una estación puede disponer en un instante de tiempo dado de más de un circuito virtual hacia otra estación, así como de circuitos virtuales a varias estaciones.

La característica principal de la técnica de circuito virtual es que la ruta entre las estaciones es establecida antes de la transferencia de los datos. Obsérvese que esto no significa que sea una ruta dedicada como en el caso de conmutación de circuitos. Por el contrario, los paquetes son almacenados en cada nodo y puestos en cola sobre una línea de salida que es compartida por paquetes de distintos circuitos virtuales. La diferencia esencial con la técnica de datagrama es que, con circuito virtual, el nodo no necesita tomar decisiones de ruteo para cada paquete, sino que esta se toma una sola vez para todos los paquetes que usan dicho circuito virtual.

Si dos estaciones desean intercambiar datos durante un período largo de tiempo, existen ciertas ventajas al utilizar la técnica de circuitos virtuales. En primer lugar, la red puede ofrecer servicios sobre el circuito virtual, incluyendo orden secuencial y control de errores. El orden secuencial hace referencia al hecho de que, dado que los paquetes siguen la misma ruta, estos se reciben en el mismo orden en que fueron enviados. El control de errores es un servicio que asegura que los paquetes no sólo se reciben en orden, sino que además son correctos. Por ejemplo, si un paquete en una secuencia del nodo 4 al 3 no llega a este último, o se recibe erróneamente, el nodo 3 puede solicitar al nodo 4 la retransmisión del paquete. Otra ventaja es que los paquetes viajan por la red más rápidamente haciendo uso de circuitos virtuales, ya que no es necesaria una decisión de ruteo para cada paquete en cada nodo.

Sin embargo, es oportuno describir algunas ventajas de la técnica de Datagrama sobre Circuito Virtual:

- ✓ En la técnica de datagrama no existe la fase de establecimiento de llamada. De esta forma, si una estación desea enviar solo uno o pocos paquetes, el envío datagrama resultará más rápido.

- ✓ El servicio de datagrama, dado que es más rudimentario, resulta más flexible. Por ejemplo, si se produce una congestión en una parte de la red, los datagramas entrantes se pueden encaminar siguiendo rutas lejanas a la zona de congestión. En la técnica de circuitos virtuales, en cambio, al seguir los paquetes una ruta predefinida, es más difícil para la red solucionar la congestión.
- ✓ La transmisión a través de datagrama es inherentemente más segura. Con la utilización de circuitos virtuales, si un nodo falla se perderán todos los circuitos virtuales que atraviesan ese nodo. Por el contrario, en el servicio de datagrama, si un nodo falla los paquetes siguientes pueden encontrar una ruta alternativa que no atraviese dicho nodo.

Muchas de las redes de conmutación de paquetes existentes en la actualidad hacen uso de circuitos virtuales para su funcionamiento interno. En cierta manera de este hecho viene motivado por razones históricas de modo que posibilita a una red disponer de servicios confiables (en términos de orden secuencial) como en el caso de redes de conmutación de circuitos. Existen, sin embargo, varios proveedores de redes privadas de conmutación de paquetes que hacen uso de datagramas. Desde el punto de vista del usuario debería haber muy pocas diferencias en el funcionamiento externo de la transmisión mediante datagramas o mediante circuitos virtuales. Más adelante en este texto, cuando se estudie la interconexión de redes mediante el grupo de protocolos TCP/IP, se verá que es usual el funcionamiento basado en datagramas.

4.2.3. Análisis tamaño del paquete respecto al tiempo de transmisión del mensaje

Existe una relación importante entre el tamaño del paquete y el tiempo de transmisión. Esta cuestión se estudia mediante un ejemplo sencillo que se muestra en la Figura 4.2.3.1. En este ejemplo se supone, por simplicidad, una red con sólo dos nodos (a y b) a través de los cuales existe un circuito virtual entre la estación X y la estación Y. Considérese que el mensaje a enviar es de 40 bytes y cada paquete contiene 3 bytes de información de control (cabecera) situada al comienzo del mismo. Si el mensaje completo se envía como un único paquete de 43 bytes (3 de cabecera y 40 bytes de datos), éste se envía primero desde la estación X hasta el nodo “a” Figura 4.2.3.1(a). Sólo cuando el paquete completo ha sido recibido en “a” recién puede ser transmitido a “b”. De la misma forma, cuando el paquete completo se recibe en “b”, es transferido a la estación Y. Despreciando el tiempo de conmutación, el tiempo total de transmisión es de 129 veces el tiempo de duración de un byte (43 bytes x 3 transmisiones del paquete).

Supóngase ahora que el mensaje se fragmenta en dos paquetes, cada uno con 20 bytes de mensaje y, claro está, 3 bytes de cabecera. En este caso, el nodo “a” puede comenzar a transmitir el primer paquete tan pronto como se reciba desde X, sin esperar al segundo paquete. Debido a este solapamiento en la transmisión, el tiempo total de ésta disminuye hasta 92 veces el tiempo de duración de 1 byte. Fraccionando el mensaje en 5 paquetes, cada nodo intermedio puede comenzar la transmisión antes, resultando superior el ahorro temporal conseguido un total de 77 veces el tiempo de duración de un byte. Sin embargo, tal como se ilustra la Figura 4.2.3.1(d), el proceso de usar un número de paquetes

mayor y de tamaño más pequeño puede provocar un incremento, en lugar de una reducción, en el retardo. Esto se debe a que cada paquete contiene una cantidad fija de datos de cabecera y, por lo tanto, la existencia de más paquetes implica más cabeceras. Además, el ejemplo no muestra los retardos de procesamiento y puesta en cola de cada nodo, los cuales son también mayores cuantos más paquetes se usen para un mensaje dado. Sin embargo, cuando se estudie la tecnología ATM en el próximo capítulo, se verá que utilizando un tamaño de paquete muy pequeño (53 bytes) se puede conseguir un diseño eficiente de red.

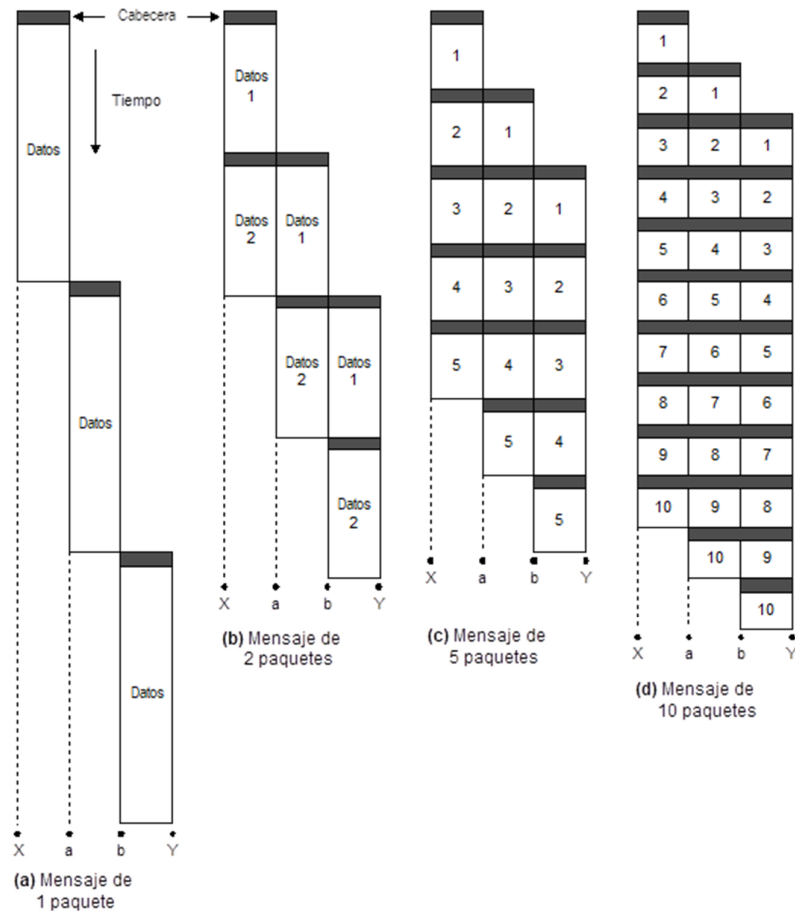


Figura 4.2.3.1: Tamaño del paquete y tiempo de transmisión

4.2.4. Interfaz de red externa

Es oportuno desarrollar un aspecto técnico de las redes de conmutación de paquetes: la interfaz entre los dispositivos conectados y la red. Hemos visto que una red de conmutación de circuitos proporciona una ruta de comunicaciones transparente para los dispositivos conectados, permitiendo que las estaciones que se conectan perciban como si tuvieran un enlace directo sólo para ellas dos. Sin embargo, en el caso de redes de conmutación de paquetes, las estaciones adjuntas deben organizar sus datos en paquetes para poder transmitirlos. Esto requiere un cierto nivel de cooperación entre la red y las

aplicaciones involucradas. Esta cooperación se implementa a través de una interfaz estándar.

El estándar utilizado para las redes tradicionales de conmutación de paquetes fue X.25, en la actualidad prácticamente desaparecido. Otra interfaz estándar más cercana en el tiempo Frame Relay. Por último, una interfaz estándar muy flexible (es capaz de encapsular distintos tipos de paquetes) y de gran uso en la actualidad es Multiprotocol Label Switching o MPLS. Ambas se discutirán en el próximo capítulo.

Normalmente, los estándares para las interfaces de red de conmutación de paquetes (Frame Relay, MPLS, entre otras) definen un servicio de circuito virtual. Este servicio permite a cualquier suscriptor de la red configurar conexiones lógicas, que son llamadas “circuitos virtuales” hacia otros suscriptores.

Se muestra un ejemplo en Figura 4.2.4.1. En este ejemplo, la estación A tiene un circuito virtual conexión a C; La estación B tiene dos circuitos virtuales establecidos, uno para C y otro para D; y las estaciones E y F tienen una conexión de circuito virtual a D. En este contexto, el término circuito virtual se refiere a la conexión lógica entre dos estaciones a través de la red; esto quizás se denomine mejor un “circuito virtual externo”.

Anteriormente, usamos el término circuito virtual para referirnos a una ruta específica planificada previamente a través de la red entre dos estaciones; esto podría llamarse un “circuito virtual interno”

Normalmente, existe una relación de uno a uno entre los circuitos virtuales internos y externos. Sin embargo, también es posible emplear un servicio de “circuito virtual externo” en una red de estilo datagrama. Lo importante para un circuito virtual externo es que existe una relación lógica, o canal lógico, establecido entre dos estaciones, y todos los datos asociados con ese canal lógico se consideran parte de un flujo único de datos entre las dos estaciones. Por ejemplo, en la Figura 4.2.4.1, la estación D va a controlar mediante un seguimiento a cuál estación (B, E, F) pertenece los datos que recibe en un momento dado. Esto lo hará en base al circuito virtual asociado a cada paquete entrante.

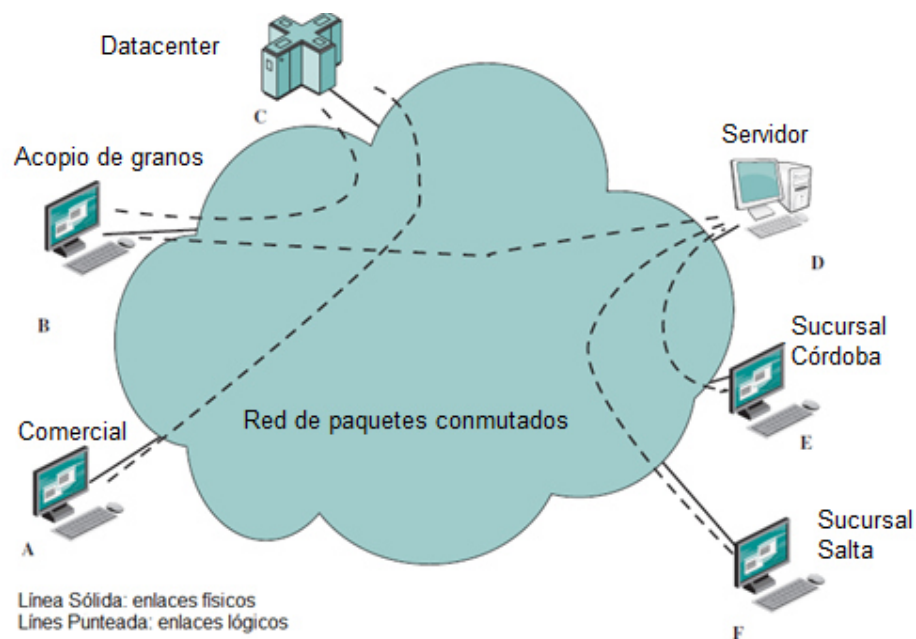


Figura 4.2.4.1: Uso de los circuitos virtuales a nivel suscriptores del servicio

4.2.5. Comparación de las Técnicas de Conmutación

Se ha analizado el funcionamiento de una red de comunicación que utiliza la técnica de conmutación de paquetes. A continuación, se realizará una comparación entre esta técnica y la de conmutación de circuitos. En primer lugar, se centrará la comparación en lo relativo a las prestaciones y después se examinarán otras características.

Prestaciones

En la Figura 4.2.5.1 se muestra un esquema que facilita la comparación entre la conmutación de circuitos y las dos formas de conmutación de paquetes estudiadas. A tal efecto se presenta un ejemplo de un mensaje transmitido a través de 4 nodos, desde una estación emisora conectada al nodo 1 hasta una estación de destino conectada al nodo 4. En dicha figura se muestran los tres tipos de retardo en la red:

- ✓ Retardo de propagación. Es el tiempo que tarda la señal en propagarse desde un nodo hasta el siguiente. Este tiempo es generalmente despreciable ya que la velocidad de las señales electromagnéticas a través de un cable, por ejemplo, es cercana a los 2×10^8 m/seg.
- ✓ Tiempo de transmisión. Es el tiempo que tarda un transmisor en enviar un bloque de datos. Por ejemplo, en cada línea de 64 Kbps se tarda 0,125 segundo en transmitir un paquete de datos de 8.000 bits (1.000 bytes).
- ✓ Retardo de nodo. Es el tiempo que tarda un nodo en realizar los procesos necesarios para la conmutación de los datos.

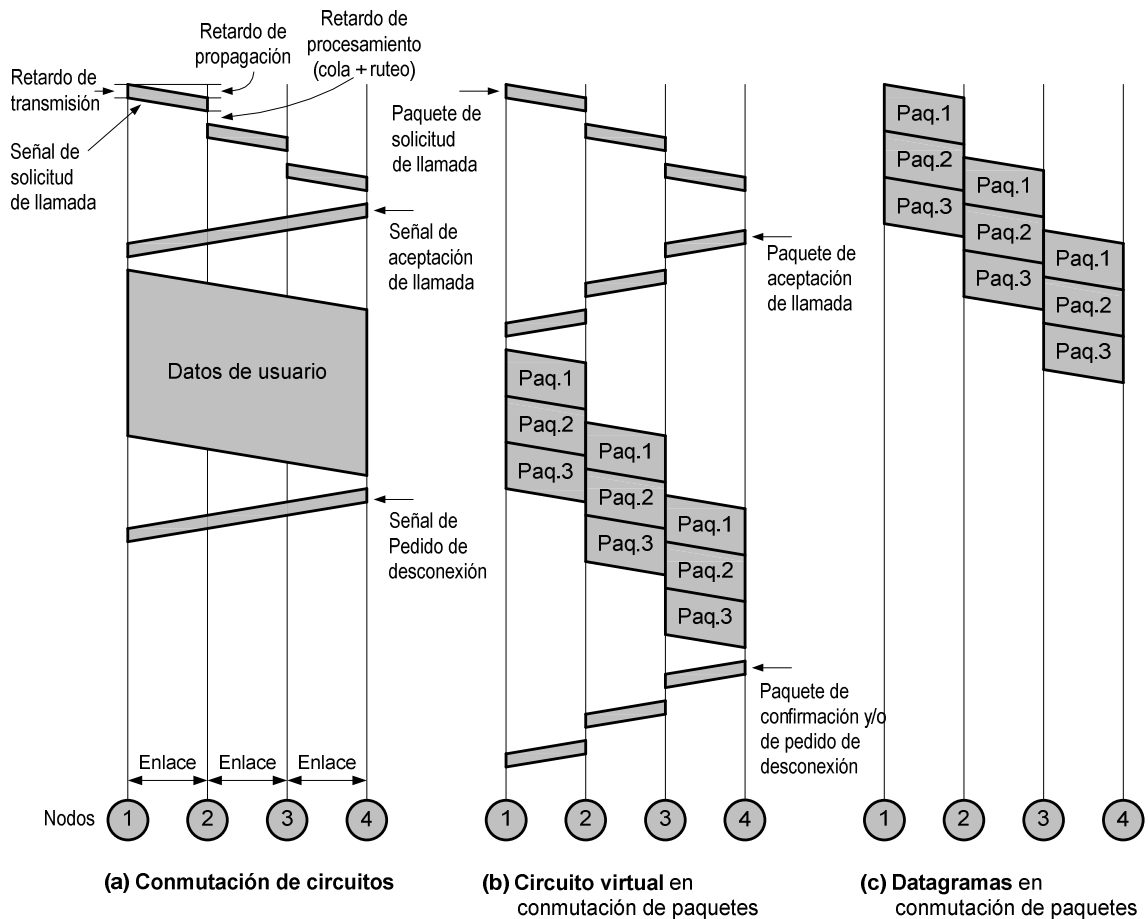


Figura 4.2.5.1: Eventos en el tiempo en los distintos tipos de conmutación

Conmutación de Circuitos

En conmutación de circuitos existe un cierto retardo antes de que se pueda enviar el mensaje. Primero se envía a través de la red una señal petición de llamada para establecer una conexión con el destino. Si la estación de destino no está ocupada, devuelve una señal llamada aceptada. Obsérvese que existe un retardo de procesamiento en cada nodo durante la solicitud de llamada, debido a la necesidad de establecer la ruta para la conexión. A la vuelta no se requiere procesamiento dado que la ruta y la conexión ya están establecidas. Una vez establecidas éstas, el mensaje se envía como un único bloque, sin retardos en los nodos de conmutación.

Conmutación de Paquetes Mediante Circuito Virtual

Esta técnica parece muy similar a la de conmutación de circuitos. Un circuito virtual se solicita mediante el envío de un paquete petición de llamada, lo que provoca un retardo en cada nodo. El circuito virtual se acepta mediante un paquete llamada aceptada. Al contrario que en el caso de conmutación de circuitos, la aceptación de llamada también experimenta retardos en los nodos, aunque la ruta de circuitos virtual se encuentre

ya establecida. La razón es que el paquete se pone en cola en cada nodo y debe esperar turno para su transmisión. Una vez que se ha establecido el circuito virtual, el mensaje se transmite en paquetes. Debería quedar claro que esta operación no puede ser más rápida, para dos redes comparables, que en el caso de la conmutación de circuitos. Este hecho se debe a que la conmutación de circuitos es esencialmente un proceso transparente, proporcionándose una velocidad de datos constante a través de la red. La conmutación de paquetes involucra cierto retardo en cada nodo de la ruta; y lo que es peor, este retardo es variable y aumenta con la carga de datos en la red, tanto en los enlaces como en los nodos.

Conmutación de Paquetes Mediante Datagramas

Esta técnica no precisa un establecimiento de la llamada, de modo que, para mensajes cortos, claramente resulta más rápida que la conmutación de paquetes mediante circuitos virtuales y, quizás, que la conmutación de circuitos. Sin embargo, dado que cada datagrama individual se enruta de forma independiente, el procesamiento de cada uno de ellos en cada nodo puede llegar a ser superior que en el caso de circuitos virtuales. Por lo tanto, para mensajes largos, la técnica de circuito virtual puede ser mejor.

A partir de la Figura 4.2.5.1 se pueden comprender aproximadamente las prestaciones relativas de las distintas técnicas. Las prestaciones reales dependen de varios factores como el tamaño de la red, su topología, la carga del tráfico y las variaciones de este último en función del tiempo.

Otras Características

Además de las prestaciones, existen numerosas características adicionales que se pueden tomar en consideración para llevar a cabo la comparación de las técnicas estudiadas. En la Tabla 4.2.5.2 se resumen las más importantes. Aunque algunas de ellas ya se han descrito, a continuación, se presentan breves comentarios adicionales.

Como se mencionó, la conmutación de circuitos es esencialmente un servicio transparente. Una vez que la conexión se ha establecido, se ofrece una velocidad de datos constante a las estaciones conectadas. Este no es el caso de la conmutación de paquetes, en donde aparece generalmente un retardo variable y, en consecuencia, los datos no se reciben de forma constante. Además, en conmutación de paquetes mediante datagramas los datos pueden llegar en orden diferente al que fueron enviados.

En la conmutación de circuitos no es necesario el agregado de cabecera en los datos que se desean enviar. Por otra parte, una vez que se ha establecido la conexión, los datos analógicos o digitales van desde el origen hasta el destino. En conmutación de paquetes, en cambio, los datos analógicos deben convertirse a digital antes de su transmisión. Además, cada paquete debe incluir bits suplementarios relativos, por ejemplo, a la dirección de destino, número de orden, finalización de la fragmentación, entre otros.

Conmutación de circuitos	Conmutación de paquetes mediante datagramas	Conmutación de paquetes mediante circuitos virtuales
Ruta de transmisión dedicada	Ruta no dedicada	Ruta no dedicada
Transmisión de datos continua	Transmisión de paquetes de datos	Transmisión de paquetes de datos
Suficientemente rápida para aplicaciones interactivas	Suficientemente rápida para aplicaciones interactivas cuando no hay congestión en enlaces y/o nodos	Suficientemente rápida para aplicaciones interactivas cuando no hay congestión en enlaces y/o nodos
Los mensajes no se almacenan en los nodos	Los paquetes se almacenan hasta su envío en los nodos	Los paquetes se almacenan hasta su envío en los nodos
La ruta se establece para toda la conversación	Cada paquete puede seguir una ruta particular	La ruta se establece para toda la conversación
Existe retardo de establecimiento de la llamada. El retardo en la transmisión del mensaje es debido sólo al retardo en la propagación de la señal.	Retardo de transmisión de paquetes	Existe retardo de establecimiento de la llamada y de transmisión de los paquetes
La sobrecarga puede bloquear el establecimiento de la llamada. En llamada establecida, existe solo retardo de propagación	La sobrecarga aumenta el retardo del paquete	La sobrecarga puede bloquear el establecimiento de la llamada y aumenta el retardo del paquete
El usuario es el responsable de la protección ante posibles pérdidas del mensaje	La red puede ser la responsable de pérdida de paquetes individuales	La red puede ser responsable de pérdida de secuencia de paquetes
No existe, generalmente, conversión de velocidad ni de código. Se transmite la señal tal como la envía el usuario.	Existe conversión de velocidad y de código	Existe conversión de velocidad y de código
Uso de señal de ocupado si la parte receptora de la llamada está ocupada	Se puede notificar al emisor acerca de que un paquete no se ha enviado	Se notifica al emisor sobre la denegación de conexión
Ancho de banda fijo	Uso dinámico del ancho de banda	Uso dinámico del ancho de banda
No existen bits suplementarios tras el establecimiento de la llamada	Uso de bits suplementarios en cada paquete	Uso de bits suplementarios en cada paquete

