

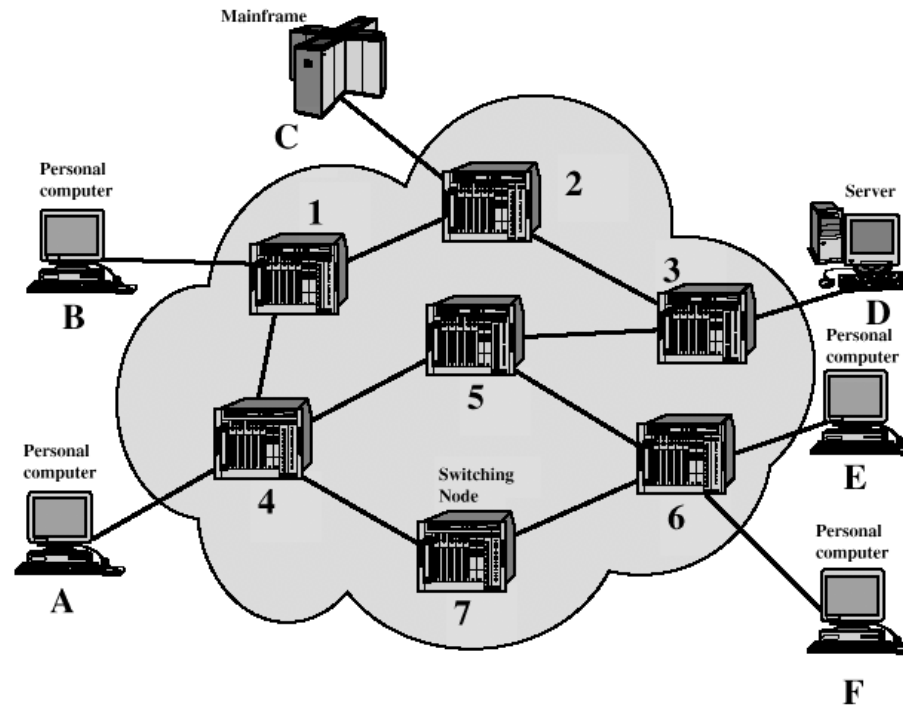
# **Redes de comunicación**

**Conmutación de circuitos**

**Conmutación de paquetes**

## Redes conmutadas

- ✓ **Conmutación (nodos) de los datos que se reciben de una estación emisora hasta hacerlos llegar a una estación receptora (routing).**



- ☆ *Nodos de conmutación interna y nodos de conexión a las estaciones.*
- ☆ *Enlaces de nodos normalmente multiplexados: FDM o TDM.*
- ☆ *Red no totalmente conectada, pero varios caminos alternativos.*

## Conmutación de circuitos

---

### ✓ Fases:

- ☆ *Establecimiento de llamada.*
  - ✦ Se debe establecer un circuito antes de transmitir cualquier señal.
  - ✦ Los nodos, usando tablas de routing, deben decidir la ruta adecuada y reservar el canal (FDM o TDM).
  - ✦ Establecimiento de la capacidad del canal. Garantía de conmutación a suficiente velocidad.
  
- ☆ *Transferencia de datos.*
  - ✦ Envío de datos a través del canal.
  - ✦ Tendencia a redes digitales (transmisión digital).
  
- ☆ *Desconexión del circuito.*
  - ✦ Iniciada, generalmente, por una de las estaciones conectadas.
  - ✦ Se liberan los canales y/o enlaces involucrados.
  
- ☆ *Adecuada para transmisiones de voz (red telefónica básica).*
  
- ☆ *Ineficiente al mantener el canal ocupado continuamente.*

## Conmutación de circuitos: Nodo conmutado

---

### ✓ Conmutador digital

- ☆ *Proporcionar un camino para la señal de forma transparente entre dispositivos conectados.*
- ☆ *Típicamente conexión full-duplex.*

### ✓ Interfaz de red

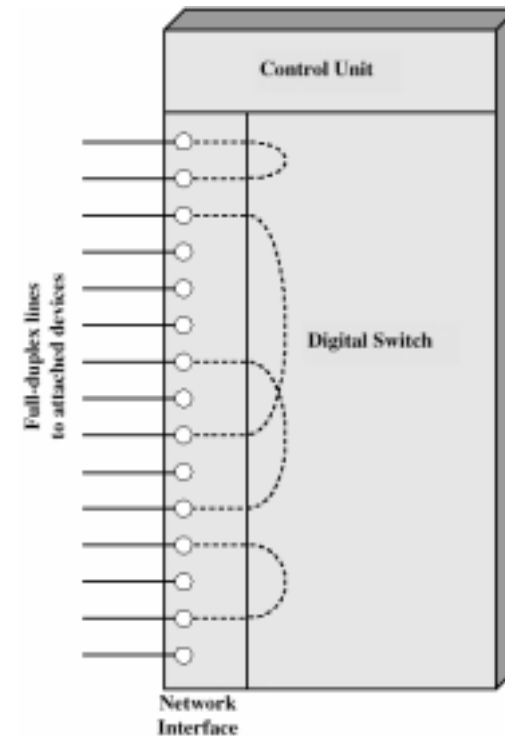
- ☆ *Funciones hardware y software para conectar los dispositivos a la red.*

### ✓ Unidad de control

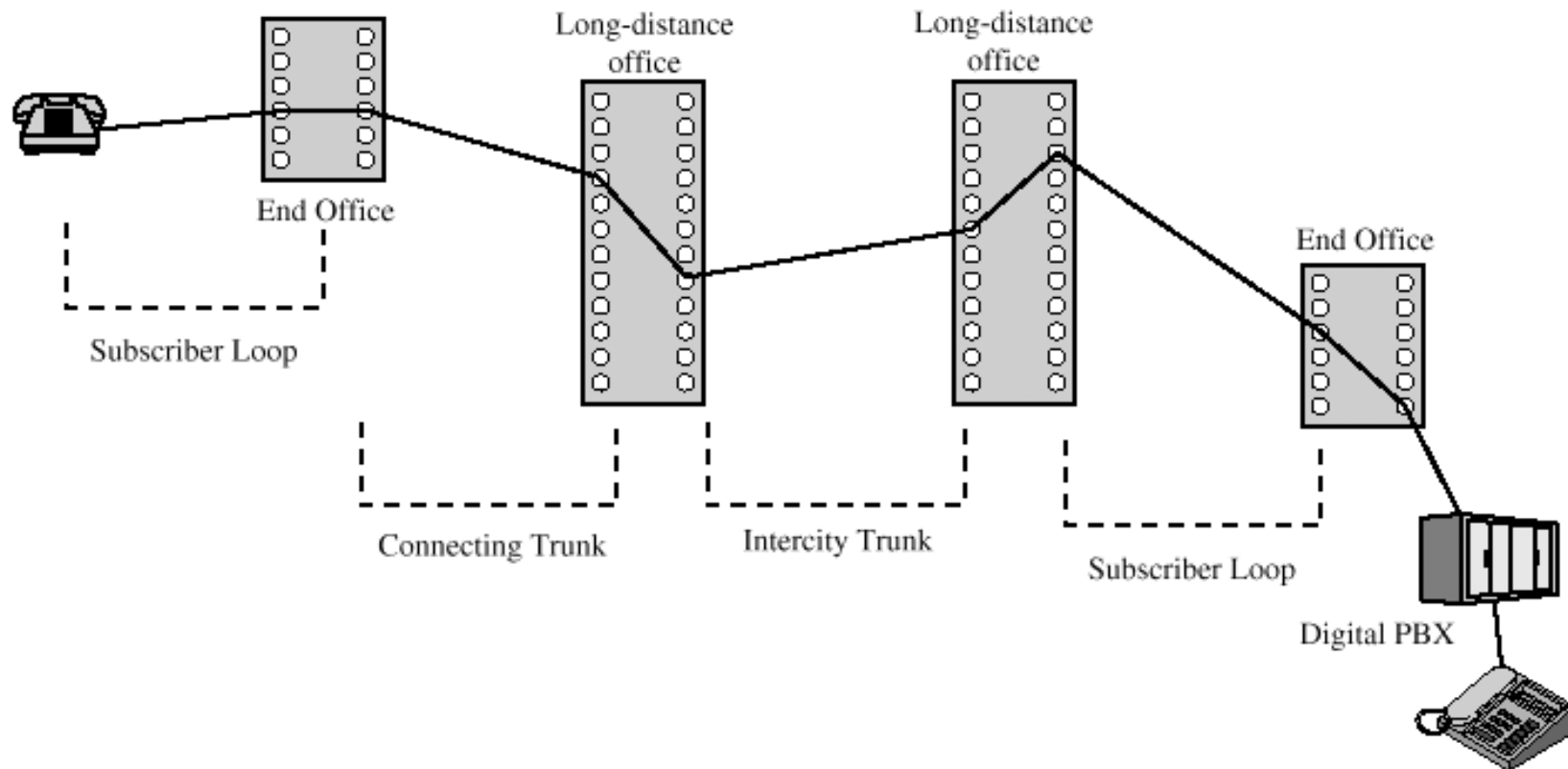
- ☆ *Establece conexiones bajo demanda: gestionar y confirmar la petición, determinar si el destino está desocupado y construir el camino a través del conmutador.*
- ☆ *Mantener la conexión. Si es TDM (digital) significa control continuo de los elementos de conmutación.*
- ☆ *Deshacer la conexión por cuenta propia o por petición.*

### ✓ Bloqueante: no permite la conexión simultánea de todos los dispositivos.

Dpt. Arquitectura de Computadores



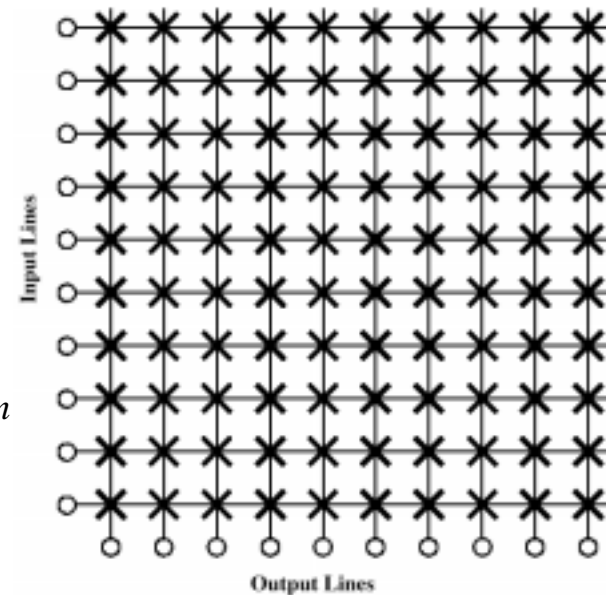
# Conmutación de circuitos: red pública



## Conmutación de circuitos por división en el espacio

---

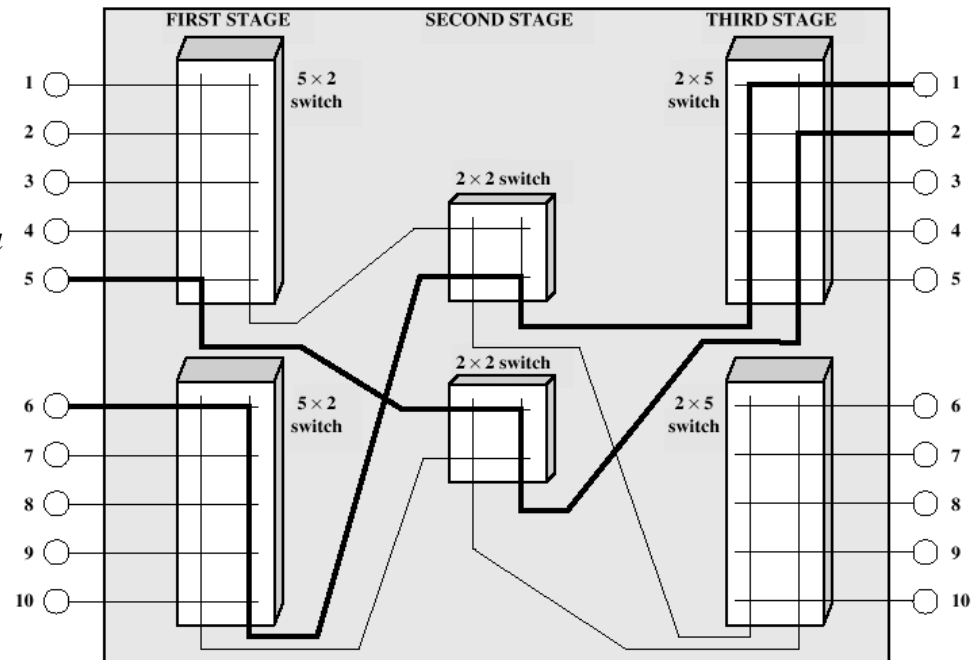
- ✓ Las rutas establecidas son físicamente independientes.
- ✓ Cada conexión requiere un camino físico a través del conmutador que se dedique exclusivamente a transmitir señales de esa conexión.
- ✓ Conmutadores monoetapa (matriz de líneas):
  - ☆ *Demasiados puntos de cruce.*
  - ☆ *Pérdida de un punto de cruce imposibilita la conexión entre dos dispositivos.*
  - ☆ *Puntos de cruce usados ineficientemente: la mayor parte del tiempo desocupados.*
  - ☆ *No bloqueante.*



## Conmutación de circuitos por división en el espacio.

### ✓ Conmutadores multietapa.

- ☆ *Número de puntos de cruce menor.*
- ☆ *Aumenta la utilización de las líneas de cruce.*
- ☆ *Hay más de un camino posible a través de la red para conectar dos dispositivos.*
- ☆ *Control más complejo para establecer la ruta.*
- ☆ *Bloqueante.*



## Conmutación de circuitos por división en el tiempo

---

- ✓ Partir la cadena de bits en fragmentos que compartirán una cadena de mayor velocidad.
  
- ✓ Técnica: conmutación mediante bus TDM.
  - ☆ *Uso de TDM síncrona.*
  - ☆ *Los datos muestreados en cada entrada se organizan en ranuras (canales) para formar la trama.*
  - ☆ *Datos volcados a la salida seleccionada en ese momento.*
  - ☆ *En cada ranura puede ir un 1 bit, un byte,.....*
  - ☆ *Transmisión full duplex transmitiendo en una ranura y recibiendo en otra.*
  - ☆ *Tiempo de la ranura= tiempo de transmisión de la entrada + retardo de propagación desde la entrada a la salida a través del bus.*
  - ☆ *En un conmutador bloqueante la asignación de ranuras se hace bajo demanda.*



## Conmutación de circuitos: Encaminamiento

---

### ✓ Encaminamiento estático.

- ☆ *Supone que la red forma un árbol desde el nodo que recibe la petición del abonado.*
- ☆ *Se busca en árbol hasta encontrar el nodo común con el destino.*
- ☆ *Se recorre el árbol hacia abajo hasta el abonado.*
- ☆ *Poco flexible*

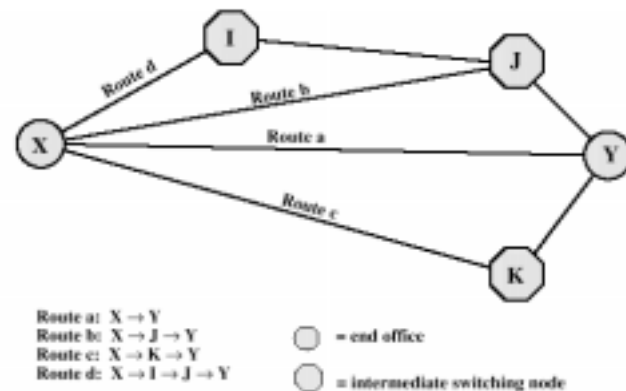
### ✓ Encaminamiento dinámico

- ☆ *Condiciones de conexión influyen en la decisión de encaminamiento.*
- ☆ *Nodos deben ser “más inteligentes”.*
- ☆ *Tipos de algoritmos:*
  - + Encaminamiento alternativo.
  - + Encaminamiento adaptable.

# Conmutación de circuitos: Encaminamiento

## ✓ Encaminamiento alternativo

- ☆ Rutas preplanificadas en orden de preferencia en cada conmutador.
- ☆ El conmutador selecciona la más adecuada atendiendo a su preferencia, ocupación y horario.



(a) Topology

Time Period	First route	Second route	Third route	Fourth and final route
Morning	a	b	c	d
Afternoon	a	d	b	c
Evening	a	d	c	b
Weekend	a	c	b	d

(b) Routing table

## Conmutación de circuitos: Encaminamiento

---

### ✓ Encaminamiento adaptable

- ☆ *Los conmutadores intercambian información para conocer el estado de la red.*
- ☆ *Algoritmo DTM (dynamic traffic management):*
  - ✦ Establece la congestión de la red estudiando el estado de cada conmutador cada diez segundos.
  - ✦ Establece rutas alternativas a partir de esta información: carga de los nodos, enlaces libres entre nodos, media del tráfico entre nodos,...

## Conmutación de circuitos: señalización de control

---

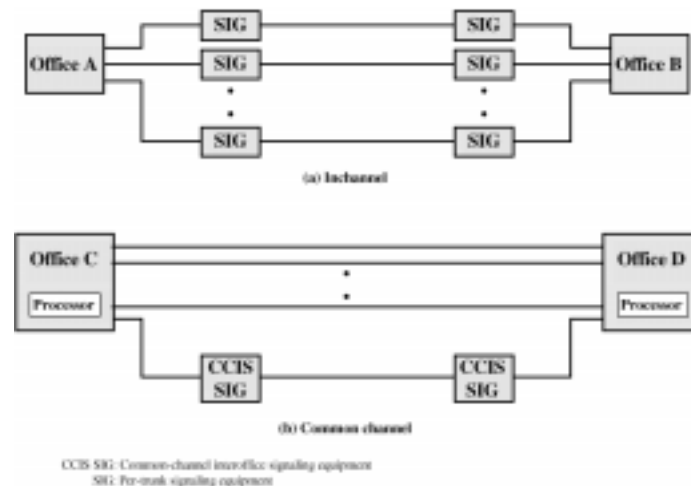
✓ Medio para gestionar la red y establecer, mantener y terminar llamadas.

✓ Funciones de señalización:

- ☆ *Comunicación audible con el abonado: tono de marcar, llamada, ocupado,...*
- ☆ *Transmisión del número marcado a la central de conmutación que realizará la conexión.*
- ☆ *Transmisión entre conmutadores indicando que la llamada no puede hacerse.*
- ☆ *Señal que hace que el teléfono suene.*
- ☆ *Información para la tarificación.*
- ☆ *Información de diagnósticos y aislamiento.*
- ☆ *Información sobre el estado de los equipos de la red.*
- ☆ *Control de equipos especiales como los de transmisión por satélite.*

## Conmutación de circuitos: señalización de control

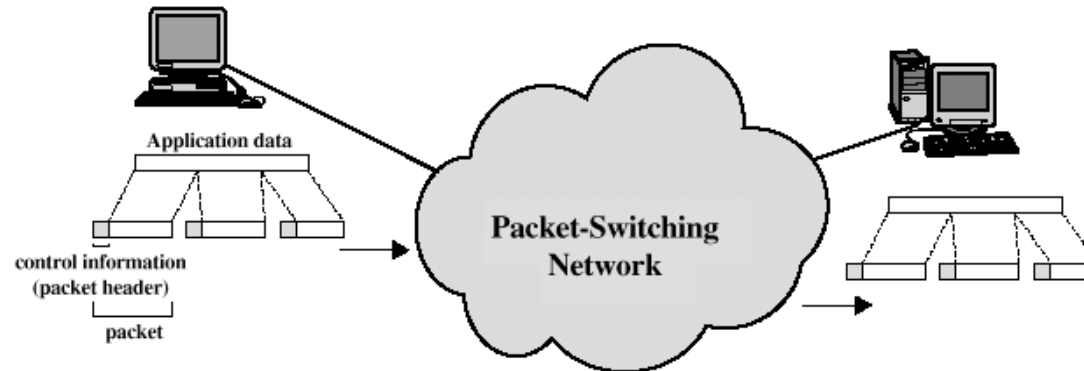
- ✓ **Señalización intracanal: la señal de control viaja por el mismo canal que los mensajes.**
  - ☆ *Intrabanda: además el mismo rango de frecuencias. Sólo podemos enviar esta información cuando no haya voz.*
  - ☆ *Fuera de banda: banda estrecha fuera del espectro del mensaje. Velocidad puede ser lenta.*
  - ☆ *También introducen grandes retardos en el establecimiento de la conexión.*
- ✓ **Señalización por canal común: el control va por un camino independiente al mensaje (canal de control).**
  - ☆ *Modo asociado: el canal común sigue a los grupos a los que sirve entre los dos puntos finales.*
  - ☆ *Modo no asociado: dos redes separadas (conmutadores para control).*
    - ✚ Enlaces para establecer el control entre las nodos de conmutación que sirven a los abonados.



## Conmutación de paquetes

---

- ✓ Los datos se transmiten en paquetes cortos (1000 octetos aprox.).



- ✓ Paquetes incluyen información de control para que la red pueda realizar el routing.
- ✓ Cada nodo recibe y almacena temporalmente el paquete, hasta que se puede transmitir.
  - ☆ Eficiencia de la línea superior ya que el enlace puede ser compartido en el tiempo por varios paquetes.
  - ☆ Permite intercambio de paquetes entre estaciones a distintas velocidades.
  - ☆ La red no se bloquea; los paquetes se almacenan y el retardo de transmisión aumenta.
  - ☆ Se pueden usar prioridades

## Técnicas de conmutación de paquetes

---

- ✓ **Envío de los paquetes con datos digitales desde el origen al destino: datagramas y circuitos virtuales.**
- ✓ **Datagrama:**
  - ☆ *Cada paquete se envía de forma independiente.*
  - ☆ *Un paquete puede adelantar a otro posterior. Estación destino debe ordenar los paquetes.*
  - ☆ *Estación destino debe detectar pérdidas de paquetes e intentar su recuperación.*
- ✓ **Circuitos virtuales:**
  - ☆ *Se fija la ruta previa antes del envío de los paquetes.*
    - + Fuente hace la petición de conexión con el destino.
    - + Nodos negocian la ruta.
    - + Todos los paquetes subsiguientes usan la misma ruta.
  - ☆ *Sigue existiendo almacenamiento de paquetes, pero no se toma decisión de routing para cada paquete.*

## Técnicas de conmutación de paquetes

---

### ✓ Ventajas de circuitos virtuales:

- ☆ *La red puede ofrecer servicios de orden secuencial: paquetes son recibidos en orden al usar el mismo circuito virtual.*
- ☆ *Servicios de control de errores entre nodos que intercambian paquetes.*
- ☆ *Los paquetes viajan más rápidamente al no necesitarse decisiones sobre el routing,*

### ✓ Ventajas de los datagramas:

- ☆ *No existe establecimiento de llamada.*
- ☆ *Mayor flexibilidad en situaciones de congestión local.*
- ☆ *Más tolerante a fallos. Si un nodo falla se pueden usar caminos alternativos.*

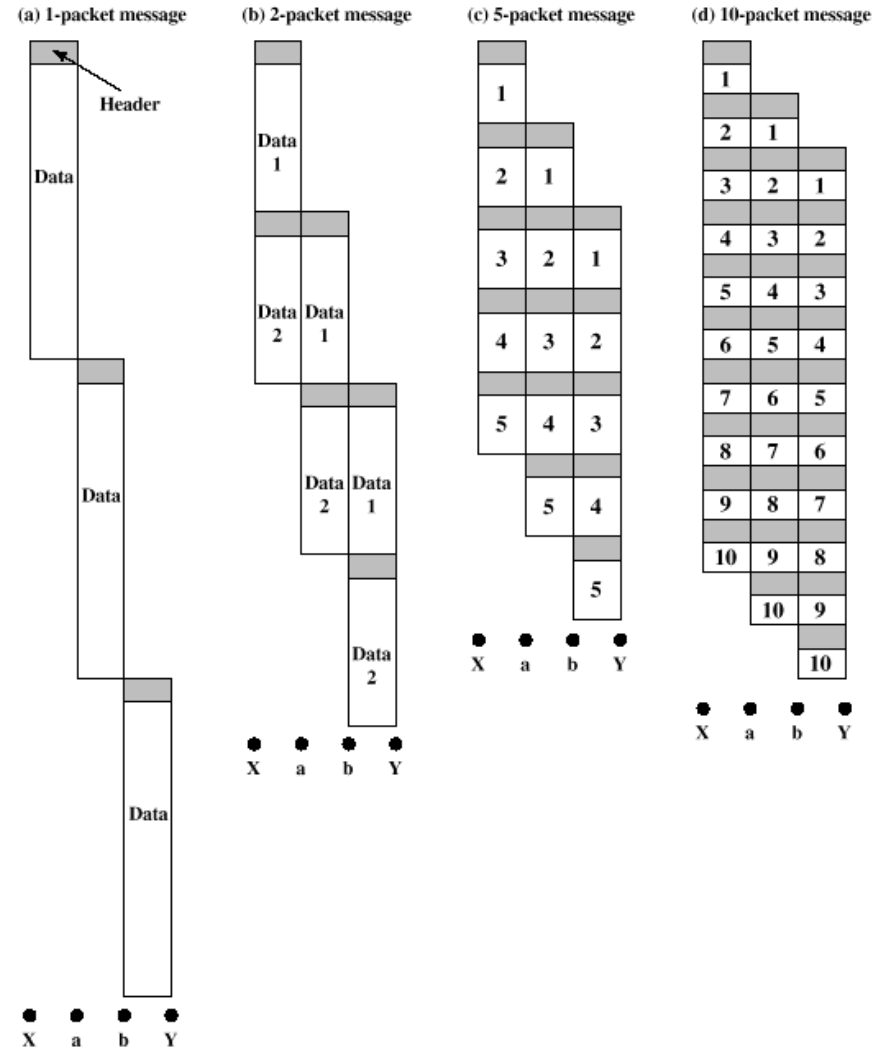
### ✓ La mayor parte de las redes actuales usan circuitos virtuales.



# Conmutación de paquetes: tamaño del paquete

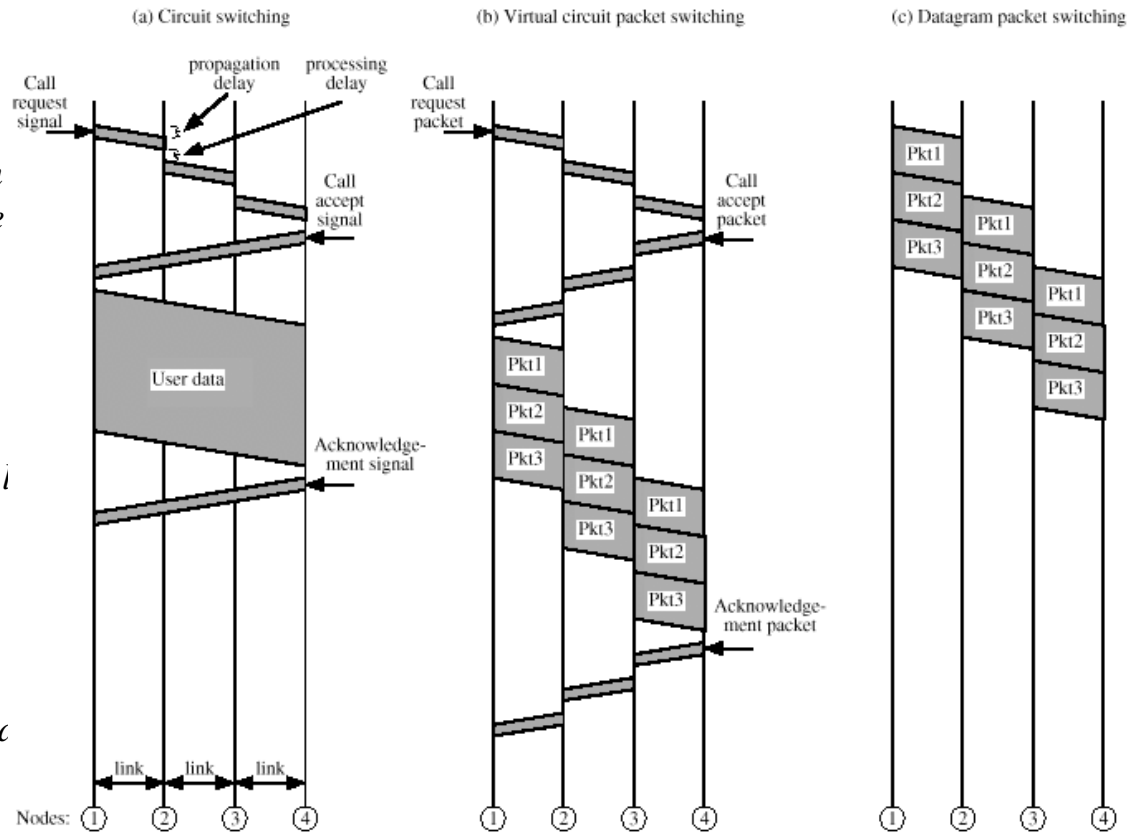
✓ Existe una relación entre el tamaño del paquete y el tiempo de transmisión.

- ☆ *Cuanto menor sea el paquete menor es el tiempo de transmisión pero,*
- ☆ *el envío de cabecera puede recargar la transmisión.*



# Conmutación de paquetes: prestaciones

- ✓ **Retardo de propagación:**
  - ☆ *tiempo de propagación de un nodo al siguiente (despreciable).*
- ✓ **Tiempo de transmisión:**
  - ☆ *tiempo necesario para la transmisión de un paquete de datos.*
- ✓ **Retardo de nodo:**
  - ☆ *tiempo necesitado para la conmutación del paquete.*



## Conmutación de paquetes: Func. externo e interno

---

- ✓ **Funcionamiento externo: desde el punto de vista de las estaciones conectadas a la red.**
- ✓ **La red aquí es una “caja negra” con operación de datagrama o circuito virtual (funcionamiento interno).**
- ✓ **Servicio de circuito virtual externo: orientado a conexión.**
  - ☆ *Todos los paquetes enviados a la red son identificados como pertenecientes a una conexión lógica (circuito virtual) dada y son numerados secuencialmente.*
- ✓ **Servicio de datagrama externo: no orientado a conexión.**
  - ☆ *La red maneja los paquetes de forma independiente pudiendo enviarlos de forma desordenada.*

## Conmutación de paquetes

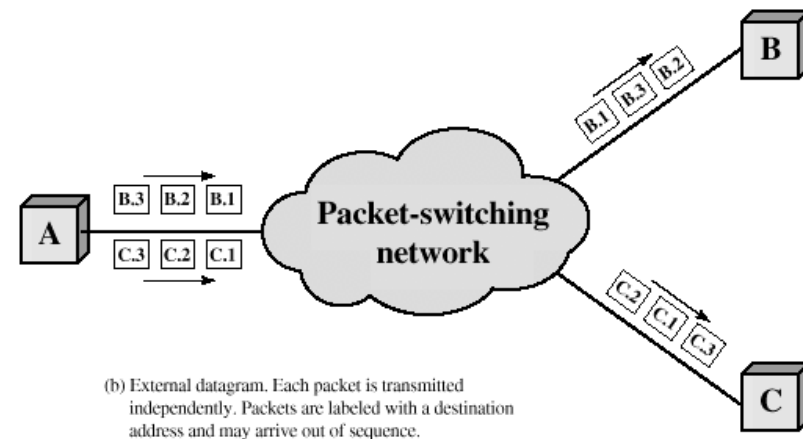
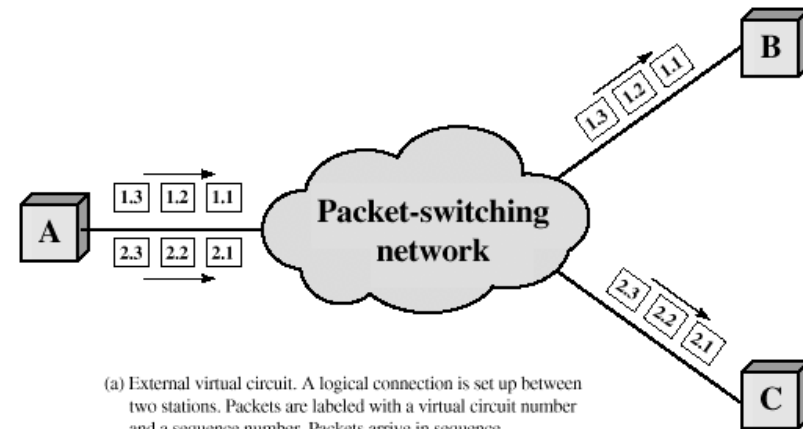
### ✓ Combinaciones de funcionamiento externo e interno

☆ *Circuito virtual externo, circuito virtual interno.*

✚ Cuando el usuario solicita un C.V., se crea un camino dedicado a través de la red siguiendo todos los paquetes la misma ruta.

☆ *Circuito virtual externo, datagrama interno.*

✚ La red maneja separadamente cada paquete que siguen camino diferentes aunque tengan asignado el mismo circuito virtual. Son enviados en secuencia.



## Conmutación de paquetes

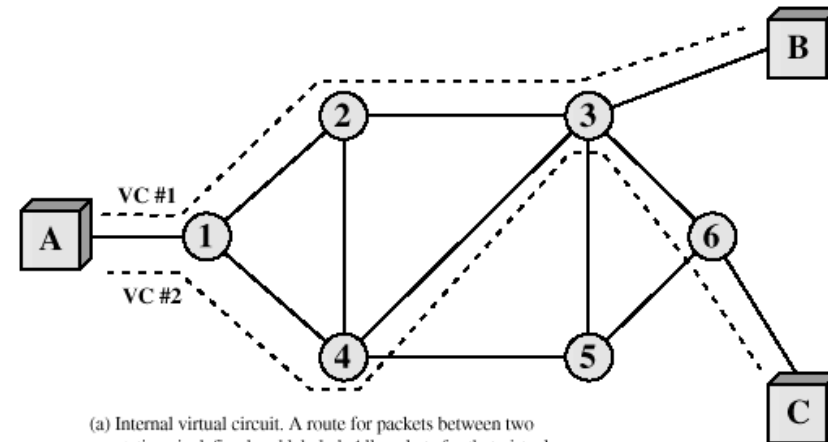
### ✓ Combinaciones de funcionamiento externo e interno

☆ *Datagrama externo, datagrama interno.*

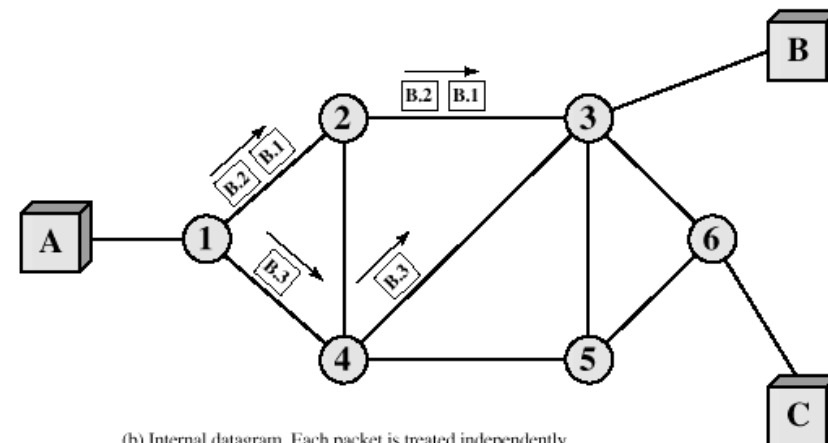
✦ Cada paquete se trata independientemente, tanto desde el punto de vista del usuario como de la red.

☆ *Datagrama externo, circuito virtual interno.*

✦ El usuario externo no ve ninguna conexión. La red, sin embargo, establece una conexión lógica entre estaciones para el envío de paquetes, pudiendo mantener la conexión durante un tiempo largo para futuras necesidades.



(a) Internal virtual circuit. A route for packets between two stations is defined and labeled. All packets for that virtual circuit follow the same route and arrive in the same sequence.



(b) Internal datagram. Each packet is treated independently by the network. Packets are labeled with a destination address and may arrive at the destination node out of sequence.

## Encaminamiento de conmutación de paquetes

---

### ✓ Características:

- ☆ *Exactitud y sencillez.*
- ☆ *Robustez: habilidad para transmitir paquetes en caso de fallos de red o sobrecargas.*
- ☆ *Estabilidad: evitar bucles de paquetes dentro de la red.*
- ☆ *Imparcialidad y optimización: incompatibilidad en algunos casos.*
- ☆ *Eficiencia: bajo coste de procesamiento.*

### ✓ Uso de algoritmos basados en el menor coste o menor número de saltos para establecer la ruta.

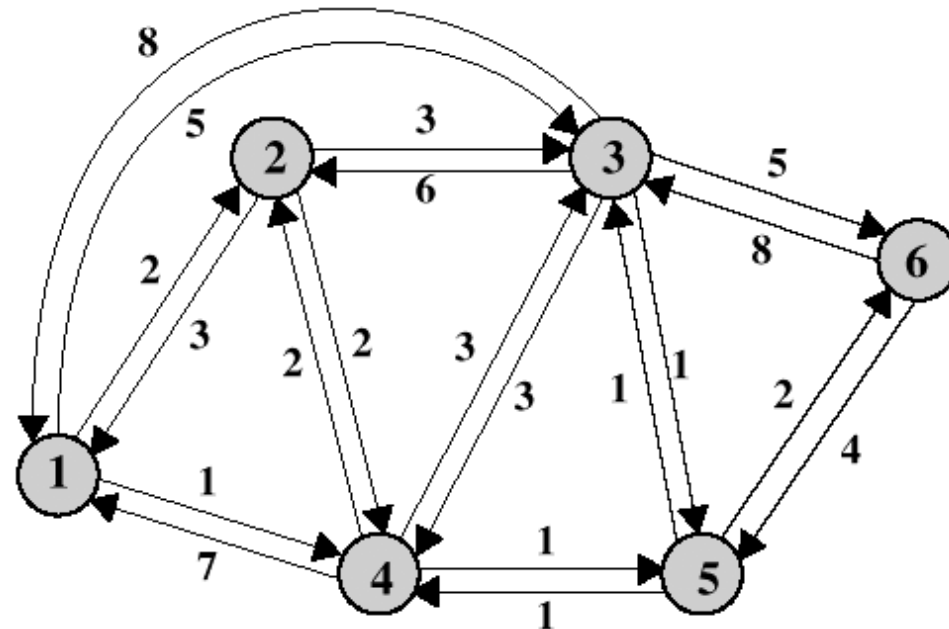
### ✓ Instante de decisión del encaminamiento:

- ☆ *Datagramas: para cada paquete.*
- ☆ *Circuitos virtuales: en el establecimiento del circuito. Este puede cambiar durante la conexión.*

## Encaminamiento de conmutación de paquetes

### ✓ Lugar de decisión del encaminamiento:

- ☆ *Encaminamiento distribuido: la decisión la toma cada nodo. Más robusto.*
  - ✦ Usa información sólo de los nodos adyacentes.
- ☆ *Encaminamiento centralizado: la realiza un nodo asignado. Más simple.*
  - ✦ Usa información de todos los nodos de la red.
- ☆ *Encaminamiento de origen: la realiza el nodo origen. Puede ser seleccionada por el usuario.*
- ☆ *En circuitos virtuales los nodos no toman decisión. Recuerdan la ruta virtual.*



# Conmutación de paquetes: estrategias de encaminamiento

## ✓ Encaminamiento estático.

- ☆ *Se elige una ruta para cada par de nodos fuente-destino.*
- ☆ *Esta ruta permanece constante mientras la topología de la red sea la misma.*
- ☆ *Uso de una matriz de encaminamiento central que almacena las rutas.*
  - ✦ *La construcción de la matriz se puede basar en el uso de algoritmos de mínimo coste.*
  - ✦ *Sólo es necesario guardar el nodo siguiente a uno dado.*
- ☆ *Cada nodo almacena su columna de la matriz de encaminamiento.*
- ☆ *No hay diferencias en el uso de datagramas o circuitos virtuales.*
- ☆ *Poco flexible y sencillez de implementación.*

CENTRAL ROUTING DIRECTORY

		From Node					
		1	2	3	4	5	6
To Node	1	—	1	5	2	4	5
	2	2	—	5	2	4	5
	3	4	3	—	5	3	5
	4	4	4	5	—	4	5
	5	4	4	5	5	—	5
	6	4	4	5	5	6	—

Node 1 Directory		Node 2 Directory		Node 3 Directory	
Destination	Next Node	Destination	Next Node	Destination	Next Node
2	2	1	1	1	5
3	4	3	3	2	5
4	4	4	4	4	5
5	4	5	4	5	5
6	4	6	4	6	5

Node 4 Directory		Node 5 Directory		Node 6 Directory	
Destination	Next Node	Destination	Next Node	Destination	Next Node
1	2	1	4	1	5
2	2	2	4	2	5
3	5	3	3	3	5
5	5	4	4	4	5
6	5	6	6	5	5



## Conmutación de paquetes: estrategias de encaminamiento

### ✓ Inundación.

- ☆ *Un nodo envía los paquetes a todos sus vecinos que a su vez lo reenvían a los suyos. Cuando llega al nodo destino no se retransmite.*
- ☆ *Para evitar retransmisiones de los mismos paquetes se incluye un campo contador de saltos en cada paquete. Valor inicial será el diámetro de la red. Si alcanza el valor cero, el paquete se elimina.*
- ☆ *No necesita información de la red.*
- ☆ *Propiedades:*
  - ✦ *Se prueban todos los caminos posibles entre fuente o destino. Interesante si la red está dañada.*
  - ✦ *Al menos una copia del paquete habrá usado una ruta de salto mínimo. Puede ser usado para establecer el circuito virtual.*
  - ✦ *Todos los nodos son visitados. Util para propagar información importante, por ejemplo información encaminamiento.*

## **Conmutación de paquetes: estrategias de encaminamiento**

---

### **✓ Encaminamiento aleatorio.**

- ☆ *Un nodo selecciona un único camino para el paquete recibido de acuerdo a una probabilidad uniforme o no.*
- ☆ *No necesita información de la red.*
- ☆ *La ruta seleccionada no tiene por que ser la óptima.*

### **✓ Encaminamiento adaptable.**

- ☆ *Las decisiones de encaminamiento cambian a medida que lo hacen las condiciones de la red:*
  - ✦ Fallos de nodo o enlace.
  - ✦ Congestión de una zona de la red.
- ☆ *Todos los nodos deben intercambiar información de la red. Carga adicional a la red.*

## Conmutación de paquetes: estrategias de encaminamiento

### ✓ Encaminamiento adaptable.

#### ☆ *Inconvenientes:*

- ✦ Decisión de encaminamiento más compleja, incrementando el coste de procesamiento en los nodos.
- ✦ Aumenta el tráfico.
- ✦ Reacción demasiado rápida causa oscilación y congestión.
- ✦ Reacción demasiado lenta no es útil.

#### ☆ *Ventajas:*

- ✦ Las prestaciones de la red aumentan.
- ✦ Pueden ayudar en el control de la congestión.

#### ☆ *Clasificación en base a la fuente de información:*

- ✦ local: los nodos envían su paquete por una línea con cola menor que  $Q$  en la dirección correcta.
- ✦ nodos adyacentes y todos los nodos: distribuidas o centralizadas.

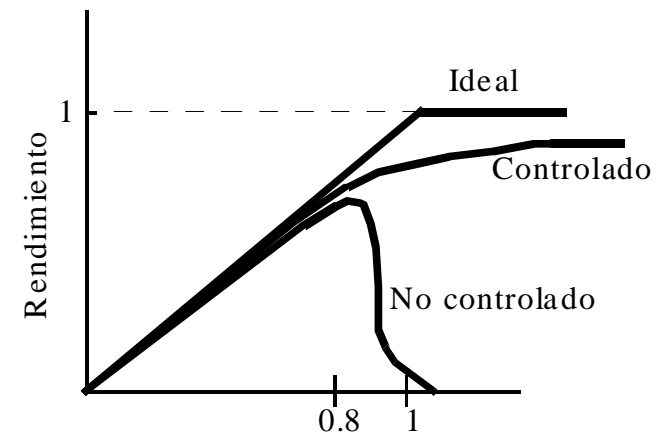
## Conmutación de paquetes: Congestión

---

- ✓ **Mantener el número de paquetes por debajo del nivel en el que las prestaciones caen de forma dramática. Teoría de colas.**
- ✓ **Suponer dos colas asociadas a los paquetes que llegan y a los que salen en un nodo.**
- ✓ **El nodo examina cada paquete entrante, toma la decisión de encaminamiento y lo coloca en la cola de salida.**

☆ *Memoria puede agotarse si los paquetes se reciben a más velocidad de la que son procesados o más rápido de lo que son borrados (enviados) a la salida. Estrategias:*

- ✦ Descartar cualquier paquete de entrada para el que no exista memoria disponible.
- ✦ Usar control de flujo para restringir la llegada de paquetes. No funciona algunas veces por las repercusiones entre nodos.



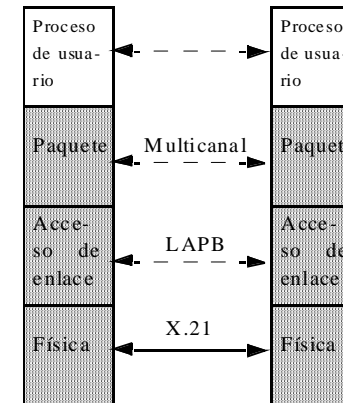
## **Conmutación de paquetes: Ejemplo Control de congestión**

- ✓ **Envío de paquetes de control desde un nodo congestionado hacia todos a algunos nodos fuente que parará o disminuirá la velocidad de transmisión desde el origen.**
- ✓ **El encaminamiento informa acerca del retardo de una línea lo que influye en las decisiones de encaminamiento (ARPANET).**
- ✓ **Uso de paquetes de prueba extremo a extremo con sello de tiempo para determinar el retardo.**
- ✓ **Permiso a los nodos de conmutación para añadir información de congestión en los paquetes que los atraviesan para que señalen el problema al nodo fuente o destino.**

## Conmutación de paquetes: X25

- ✓ **Especifica la interfaz entre una estación y una red de conmutación de paquetes.**

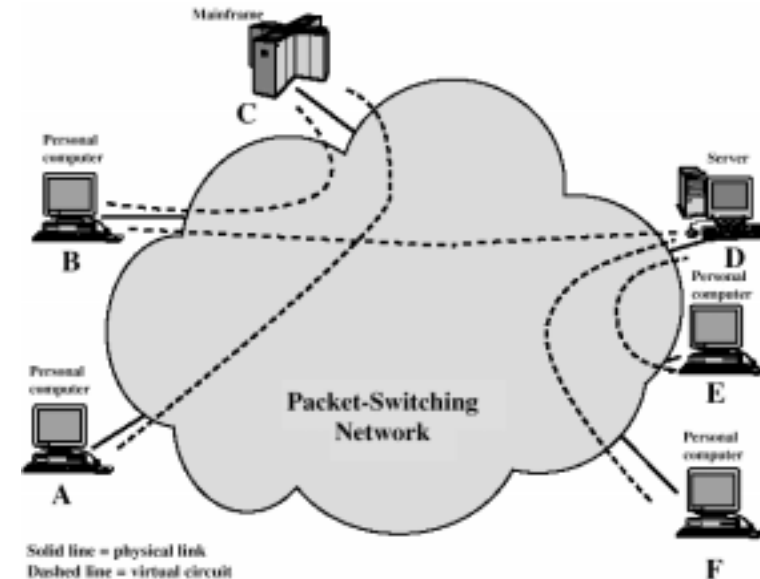
- ☆ *Capa física (X.21).*
- ☆ *Capa de enlace (LAPB).*
- ☆ *Capa de paquetes (Multicanal).*



- ✓ **Servicio de circuito virtual externo.**

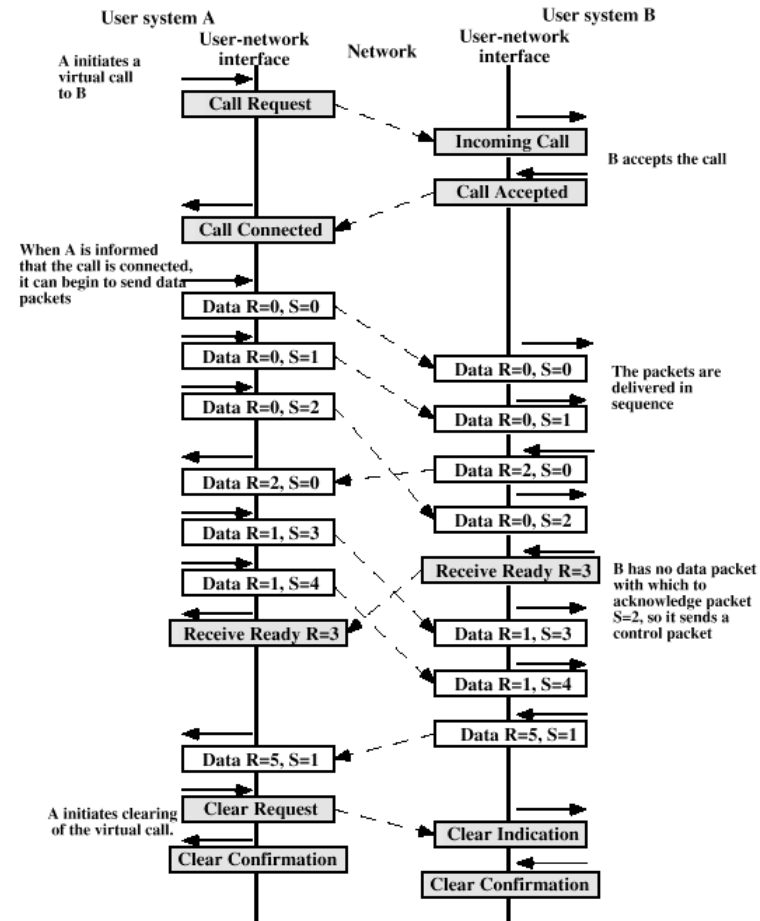
- ✓ **Tipos:**

- ☆ *Llamada virtual: circuito virtual establecido dinámicamente usando una petición de llamada o configuración y una petición de liberación.*
- ☆ *Circuito virtual permanente: circuito fijo que no necesita establecimiento y cierre.*



# X25 - Secuencia de eventos

## ✓ Establecimiento circuito e intercambio de datos



# X25 - formato del paquete

✓ Los datos de usuario se segmentan en bloques añadiendo cabecera de 24 o 32 bits.

☆ 12 bits para número de circuito virtual: 4 para grupo y 8 para número de canal.

☆ P(S) y Q(S) para control de flujo y de errores a través del circuito virtual.

☆ D controla si la confirmación es local: entre DTE y la red (D=0) o extremo a extremo: entre DTE-DTE.

Q	D	0	1	Group Number			
Channel Number							
P(R)				M	P(S)		0
User Data							

(a) Data packet with 3-bit sequence numbers

Q	D	1	0	Group Number			
Channel Number							
P(S)				0			
P(R)				M			
User Data							

(d) Data packet with 7-bit sequence numbers

0	0	1	1	0	0	0	0
Q	D	1	1	Group Number			
Channel Number							
P(S) – low order				0			
P(S) – high order							
P(R) – low order				M			
P(R) – high order							
User Data							

(g) Data packet with 15-bit sequence numbers

X	0	0	1	Group Number			
Channel Number							
Packet Type				1			
Additional Information							

(b) Control packet for virtual calls with 3-bit sequence numbers

X	0	1	0	Group Number			
Channel Number							
Packet Type				1			
Additional Information							

(e) Control packet for virtual calls with 7-bit sequence numbers

0	0	1	1	0	0	0	0
X	0	1	1	Group Number			
Channel Number							
Packet Type				1			
Additional Information							

(h) Control packet for virtual calls with 15-bit sequence numbers

0	0	0	1	Group Number			
Channel Number							
P(R)				Packet Type		1	

(c) RR, RNR, and REJ packets with 3-bit sequence numbers

0	0	1	0	Group Number			
Channel Number							
Packet Type				1			
P(R)				0			

(f) RR, RNR, and REJ packets with 7-bit sequence numbers

0	0	1	1	0	0	0	0
X	0	1	1	Group Number			
Channel Number							
Packet Type				1			
P(R) – low order				0			
P(R) – high order							

(i) RR, RNR, and REJ packets with 15-bit sequence numbers



## X25 - formato del paquete

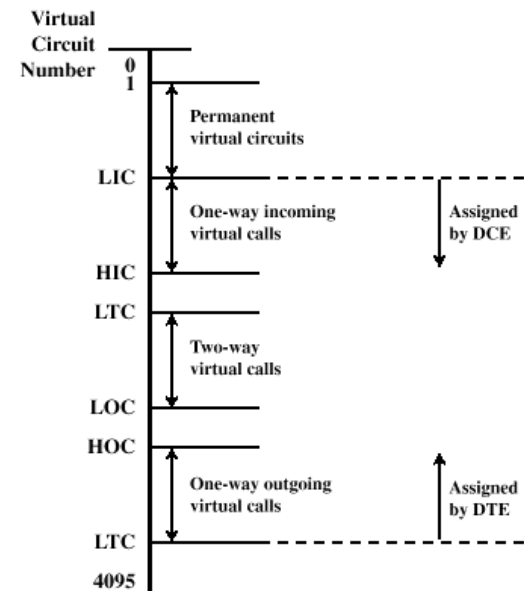
---

- ✓ **Paquetes de control incluyen número de circuito virtual, tipo de paquete de control e información de control.**
- ✓ **Petición de llamada.**
  - ☆ *Longitud de la dirección del DTE llamador.*
  - ☆ *Longitud de la dirección del DTE llamado.*
  - ☆ *Direcciones DTE.*
  - ☆ *Campo de facilidades (e.g. carga inversa).*
- ✓ **Paquete Interrupt (mayor prioridad que los paquetes de datos).**
- ✓ **Reset: recuperación de errores por reinicio del circuito virtual (números de secuencia a cero).**
- ✓ **Paquete restart cancela todas las llamadas virtuales activas.**
- ✓ **Paquete Diagnostic.**

## X25 - multiplexación

- ✓ Un DTE puede establecer simultáneamente más de 4095 circuitos virtuales con otros DTEs a través de la misma línea física.
- ✓ Admite que el circuito virtual sea full-duplex.
- ✓ Número de circuito virtual (12 bits) para diferenciar el circuito. Asignación:

- ☆ *Número cero se reserva para paquetes diagnóstico comunes a todos los circuitos virtuales.*
- ☆ *Números que empiezan por 1 para circuitos virtuales permanentes.*
- ☆ *Números que empiezan por dos para llamas entrantes.*
- ☆ *Números que empiezan por tres para llamadas salientes.*



LIC = Lowest incoming channel    HTC = Highest two-way channel    Virtual circuit number =  
 HIC = Highest incoming channel    LOC = Lowest outgoing channel    logical group number and  
 LTC = Lowest two-way channel    HOC = Highest outgoing channel    logical channel number

## X25 - secuencia de paquetes

---

- ✓ **Identificación de secuencias contiguas de paquetes de datos: secuencia completa de paquetes.**
- ✓ **Uso en interconexión de redes para permitir el envío de bloques de datos mayores del tamaño permitido por la red sin perder la integridad del bloque.**
- ✓ **Distingue paquetes A (completos,  $M=1$ ,  $D=0$ ) y paquetes B.**
  - ☆ *Secuencia: cero o varios paquetes A finalizados por una B ( $M=0$ ).*
  - ☆ *Segmentación de secuencias: paquetes grandes son divididos en paquetes más pequeños.*
  - ☆ *Combinación de secuencias: paquetes pequeños son combinados en otros mayores.*
- ✓ **Posibilidad de confirmaciones intermedias extremo a extremo**