

Conmutación de circuitos

Area de Ingeniería Telemática
<http://www.tlm.unavarra.es>

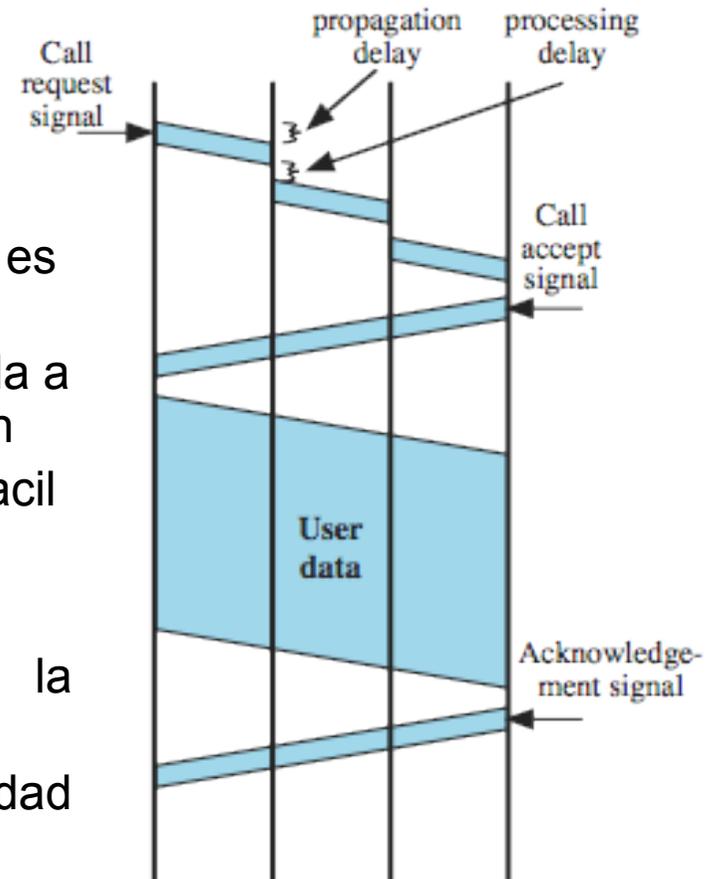
Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios
3º Ingeniería de Telecomunicación

C. Circuitos vs C. Paquetes

- Hemos visto redes de conmutación de paquetes
 - Los mensajes se dividen en paquetes
 - Los paquetes son transmitidos por un camino de origen a destino
 - Sin conexión (datagramas)
 - O circuitos virtuales
- Conmutación de circuitos
 - Se crea un circuito de la fuente al destino
 - El circuito físico real conectado queda dedicado
 - En c.c. virtuales los paquetes de diferentes circuitos comparten el servicio de transmisión

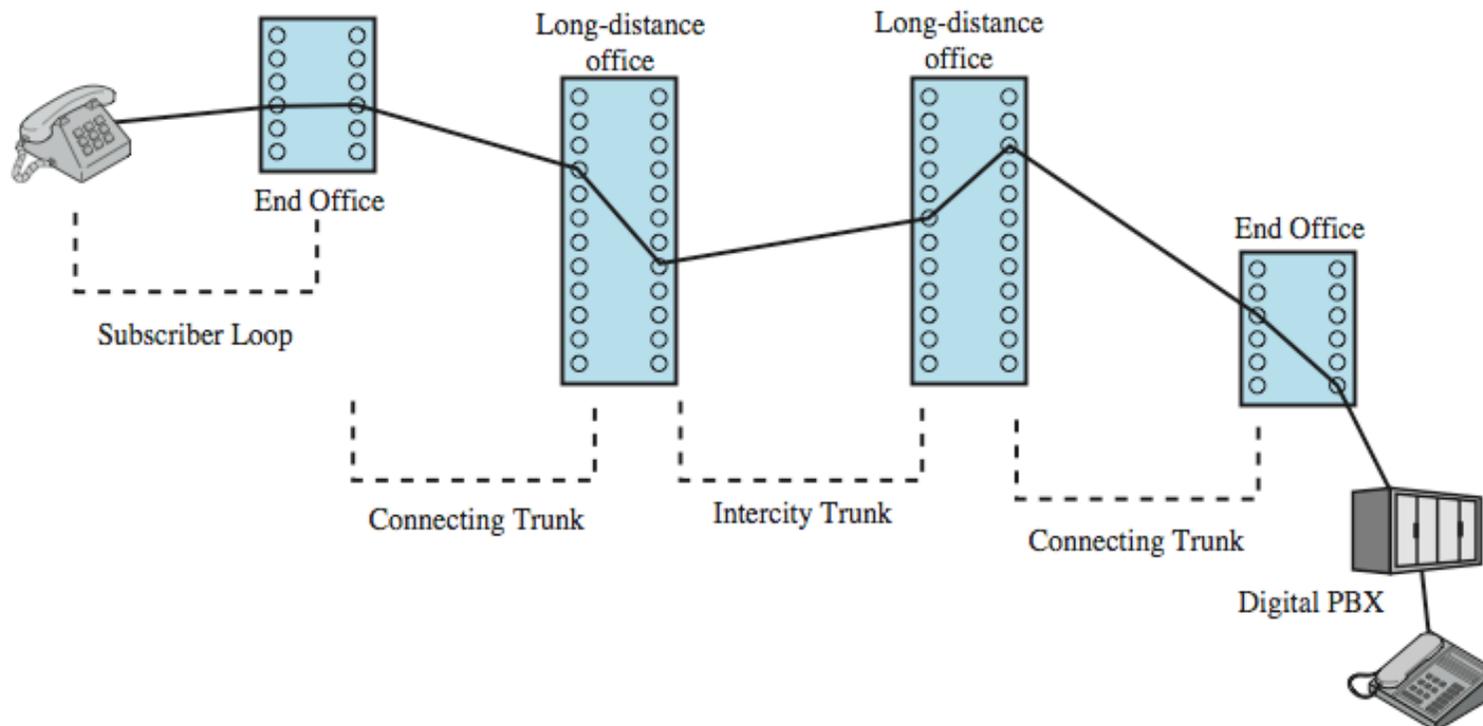
Conmutación de circuitos

- Camino dedicado entre dos terminales
- Tres fases:
 - Establecimiento
 - Transferencia
 - Desconexión
- Ventajas
 - Una vez conectado, la transferencia es transparente
 - La capacidad del canal está asignada a la conexión durante toda su duración
 - Calidad de servicio conocida (más fácil que en conmutación de paquetes)
- Desventajas
 - Capacidad del canal asignada a la conexión durante toda su duración
 - Si no se envían datos: capacidad desperdiciada
 - Establecimiento añade retardo



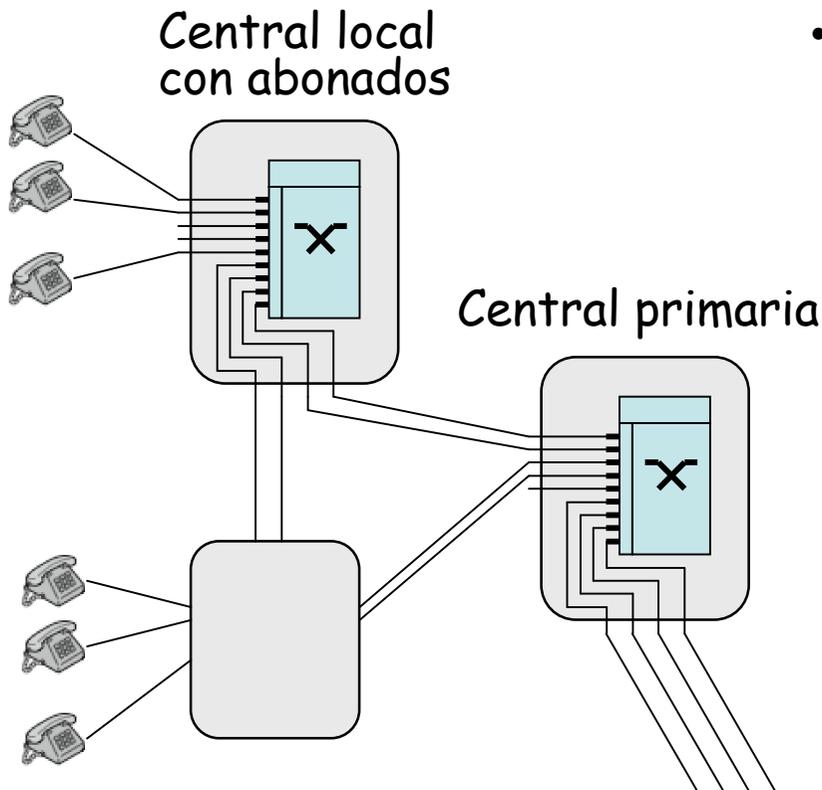
Red pública telefónica conmutada

- Abonados (*subscribers*): teléfonos o modems
- Líneas de usuario (*subscriber line, local loop*): par trenzado
- Centrales de conmutación (*exchanges*)
 - Central local (*End-office*): tiene abonados (miles) de una zona localizada
- Enlaces (*trunks*):
 - En España más de 8.000 ayuntamientos: todas con todas → ¡ más de 32M enlaces !
 - Más de 700 ciudades (>10.000 habs): todas con todas → ¡ más de 200K enlaces !

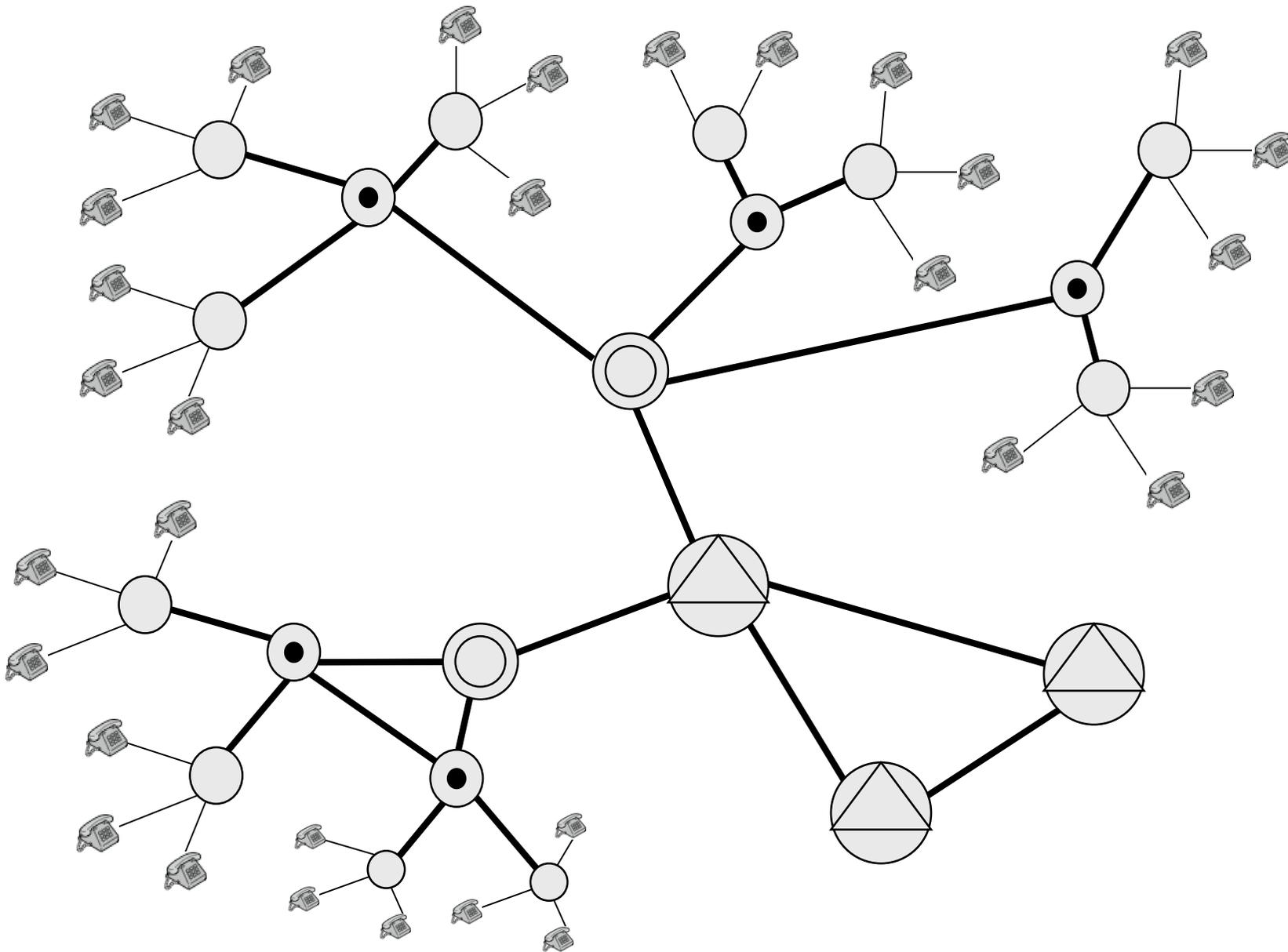


Arquitectura

- Centrales locales:
 - Conectan a usuarios de esa central entre si
 - Conectan a usuarios a una de las líneas troncales
- Centrales primarias, secundarias, terciarias:
 - Conectan líneas entre centrales
- Los enlaces entre centrales son conjuntos de líneas que se pueden conectar por separado
- Bell System Hierarchy, Switch Class:
 - 1- Regional center
 - 2- Sectional center
 - 3- Primary center
 - 4- Toll center
 - 5- End office

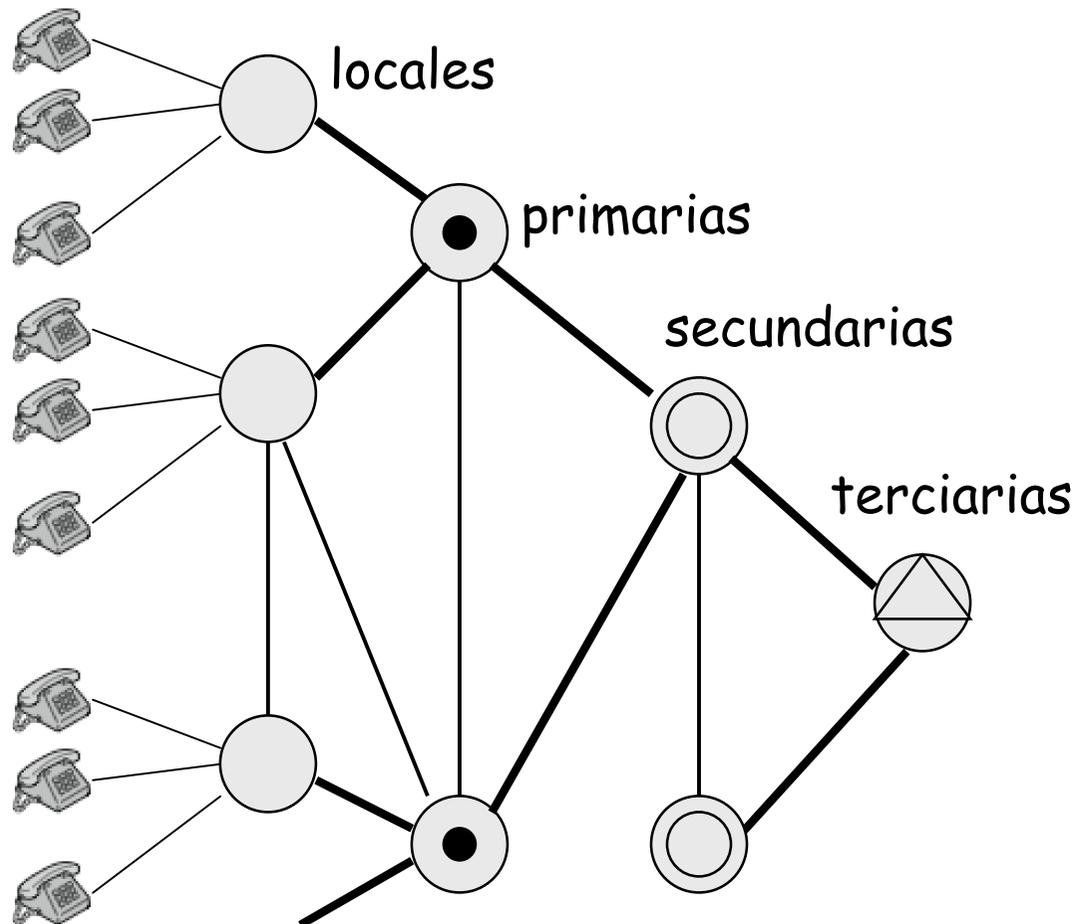


Arquitectura

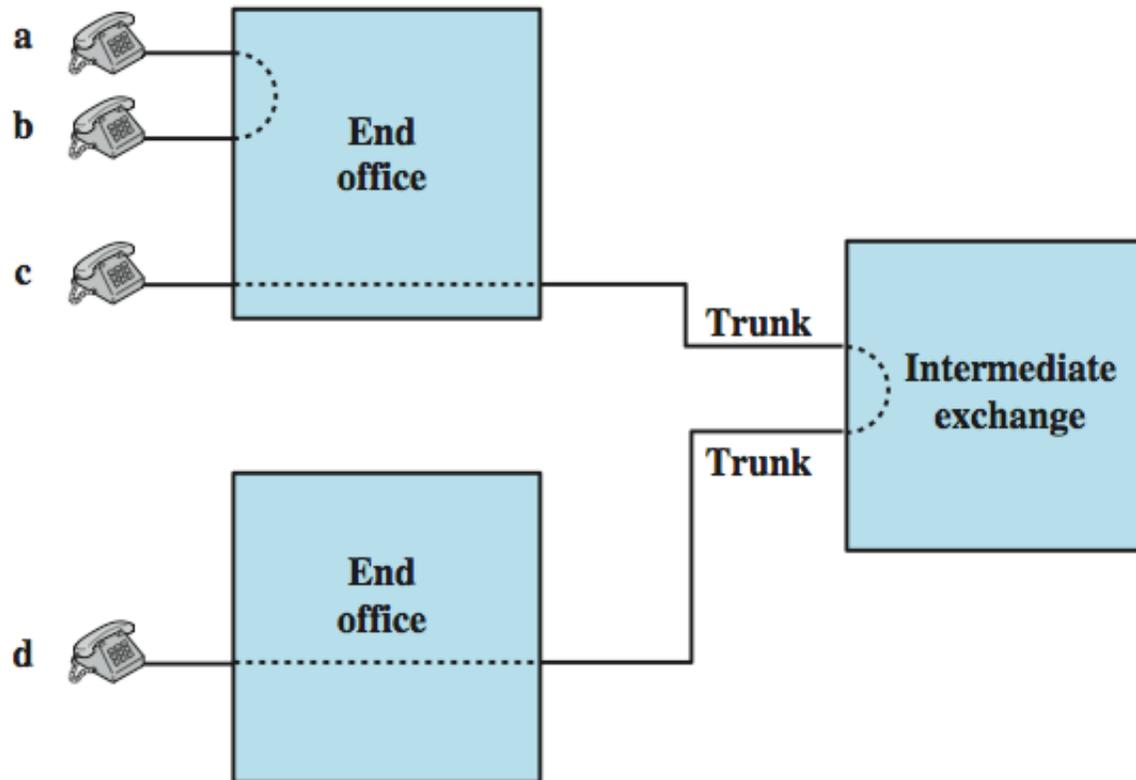


Arquitectura

- Las centrales se organizan en red jerárquica por niveles (locales, primarias, secundarias, terciarias...)
- Facilita el encaminamiento: siempre hay un superior jerárquico



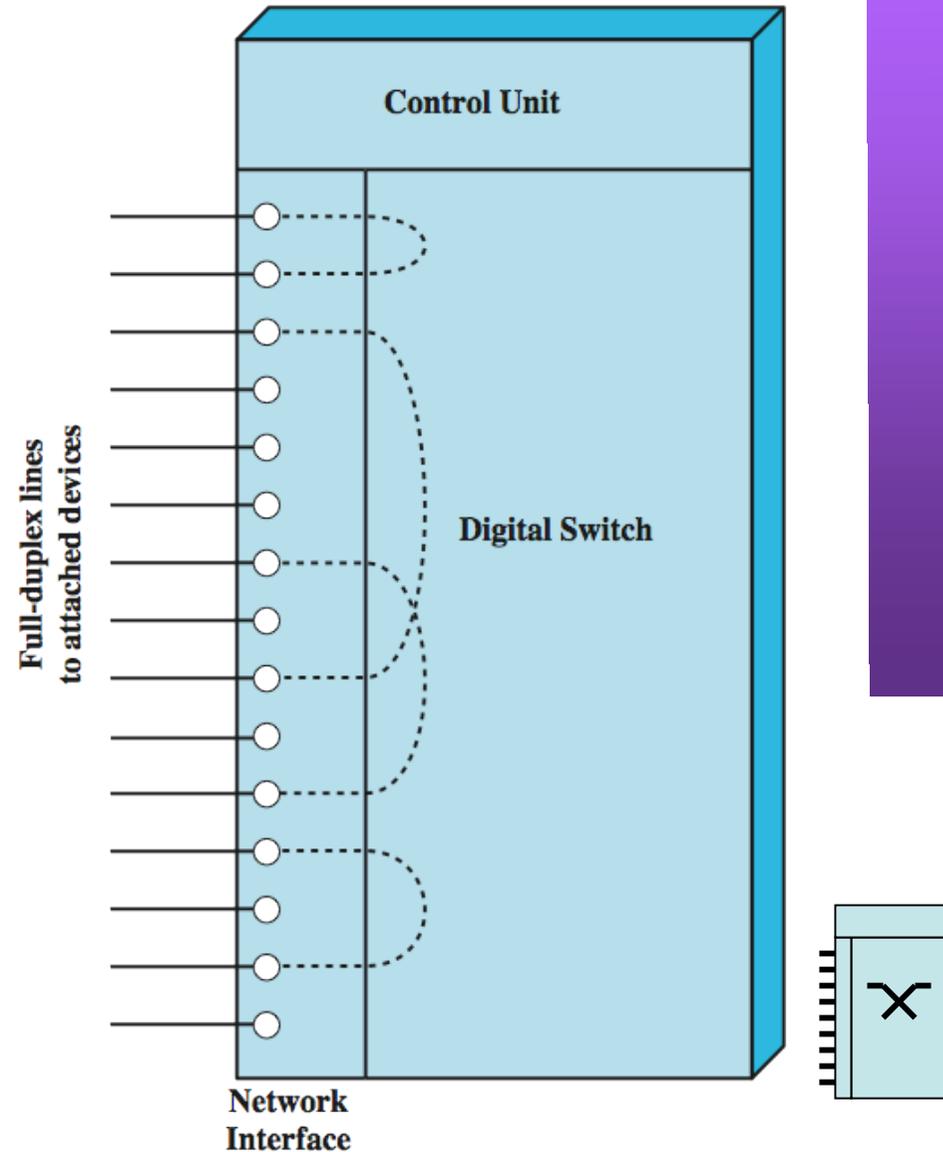
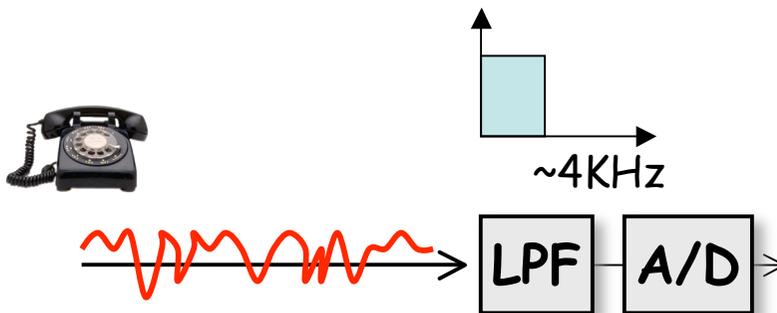
Establecimiento de circuitos



- Tráfico entre usuarios de la misma central no sale de la central
- Tráfico entre usuarios de diferentes centrales se cursa a través de enlaces troncales (*trunk*) y posibles centrales intermedias

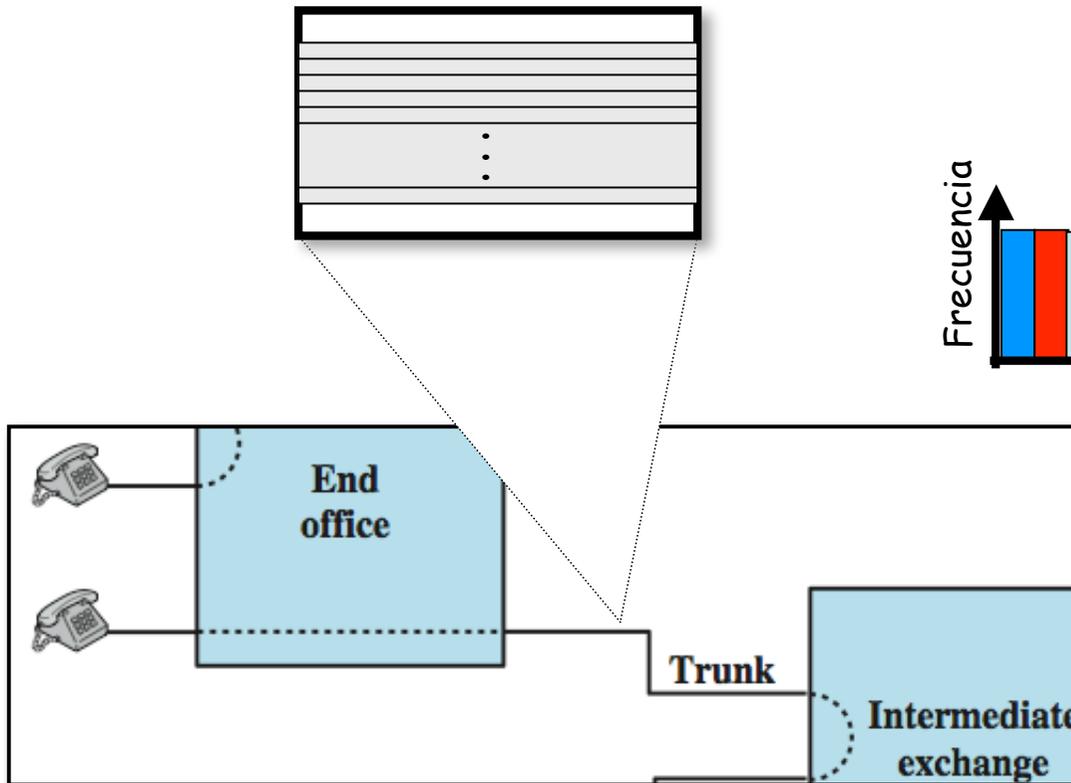
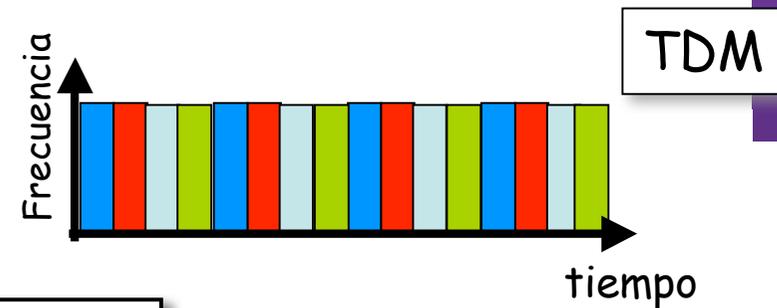
Elemento de conmutación de circuitos

- Líneas de entrada
 - Full-duplex
- Unidad de control
 - Establece, mantiene y libera caminos en el switch
- Conmutador digital
 - Conecta entre si las líneas de entrada según le indica la unidad de control



Trunks (troncales)

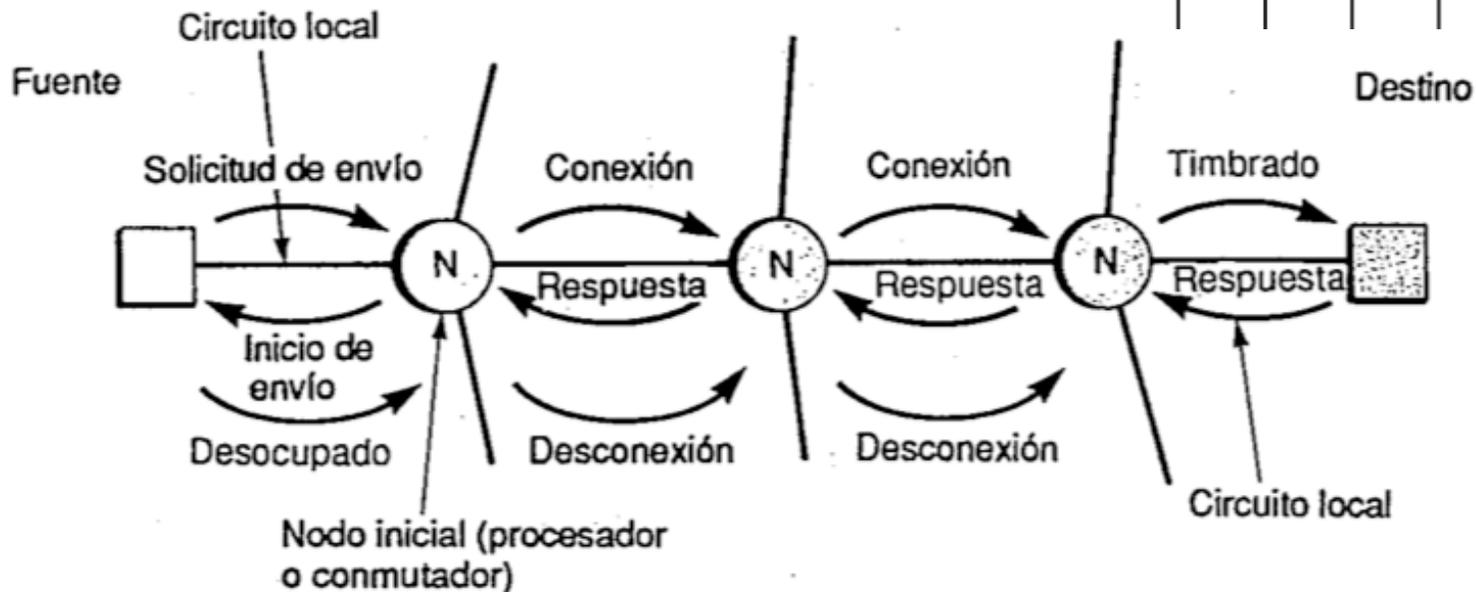
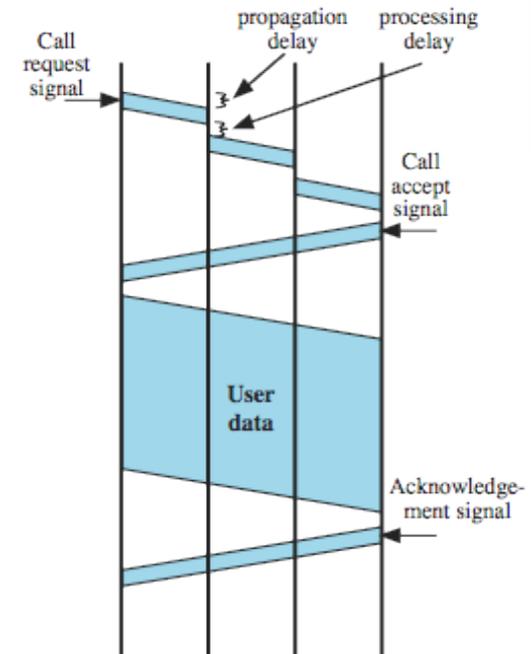
- Capacidad para múltiples circuitos simultáneos
 - Múltiples medios físicos (cables)
 - FDM
 - TDM



Señalización

“Intercambio de información de control entre los nodos de la red y entre terminales de abonado y la red”

- Las unidades de control de las centrales se comunican entre si para
 - Establecimiento de llamadas
 - Liberación de llamadas



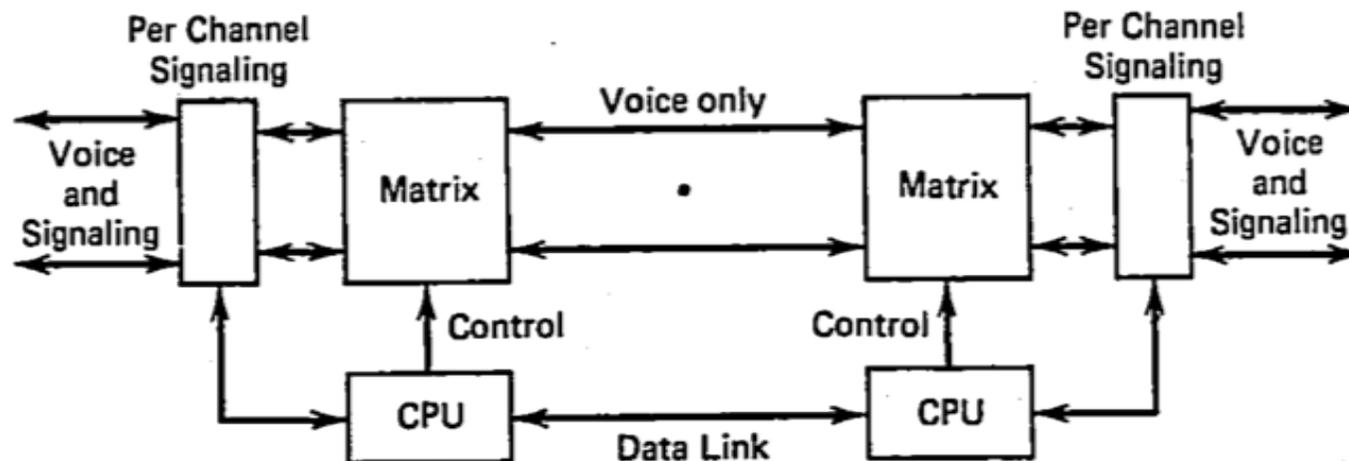
Señalización

Señalización en canal

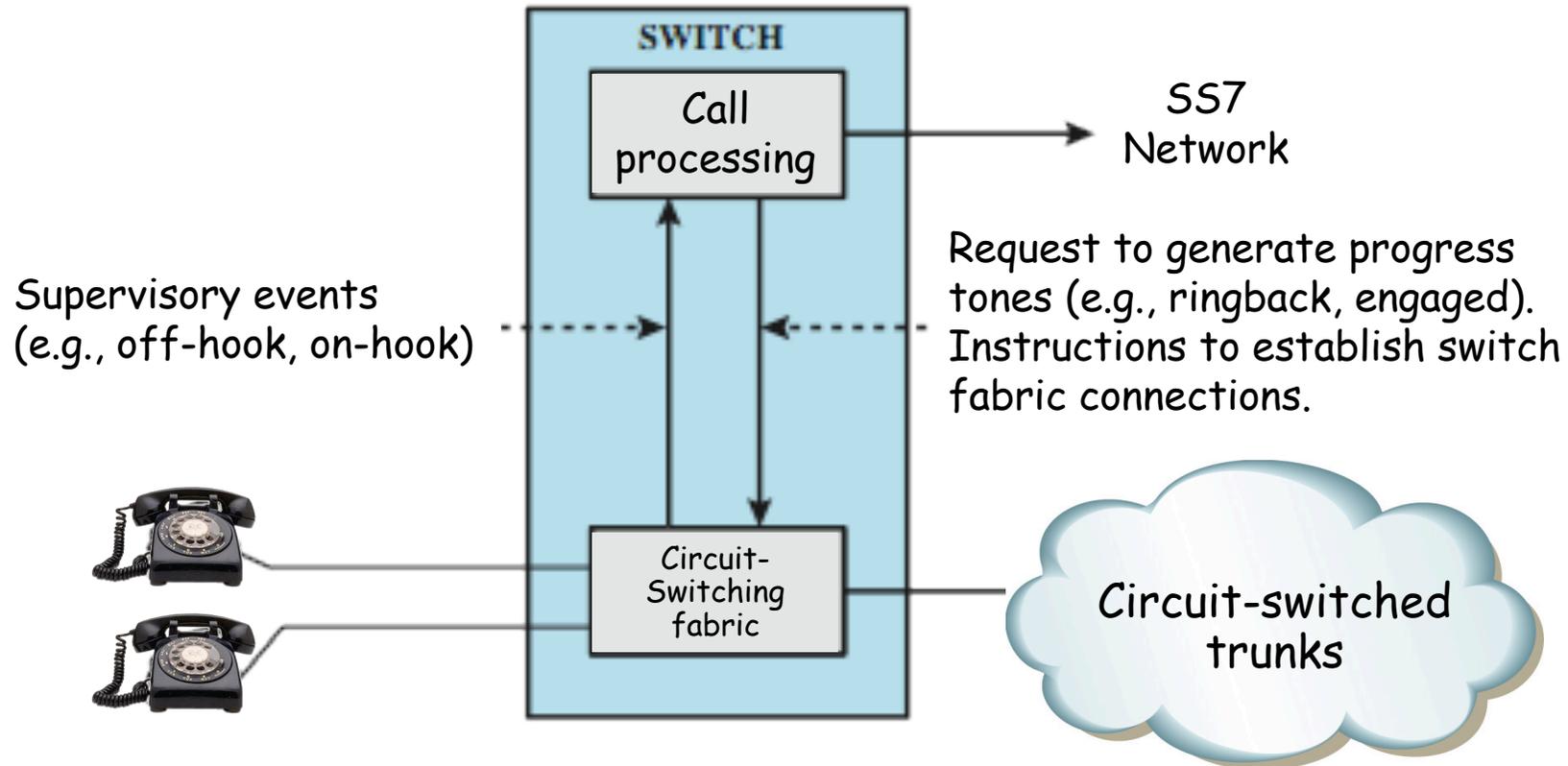
- Usa los mismos recursos de transmisión para la voz y para la señalización
- Puede ser “en banda” o “fuera de banda” (banda de frecuencias vocal)
- Ej. en banda: tonos en el marcado. Ej. fuera de banda: continua (DC) en el bucle de abonado para detectar el descuelgo

Señalización por canal común (CCS = Common Channel Signaling)

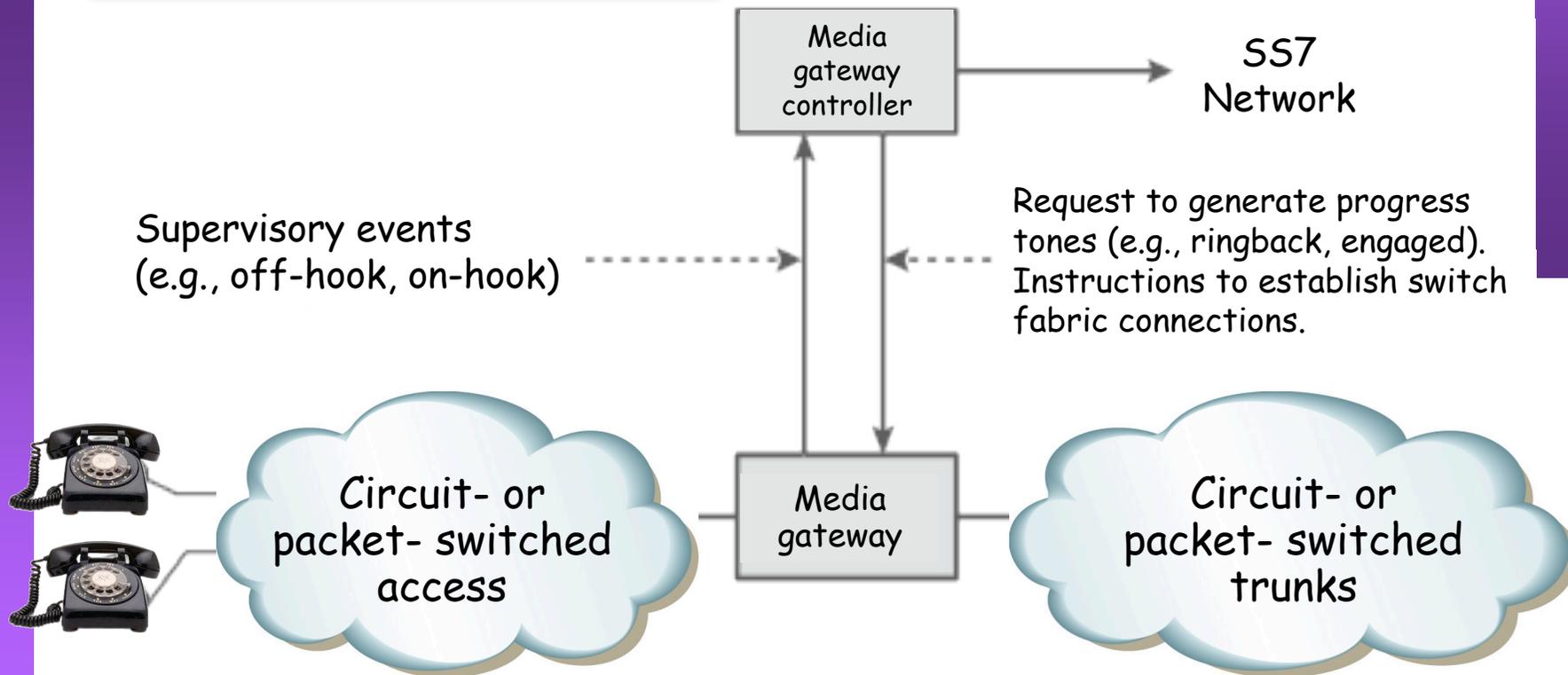
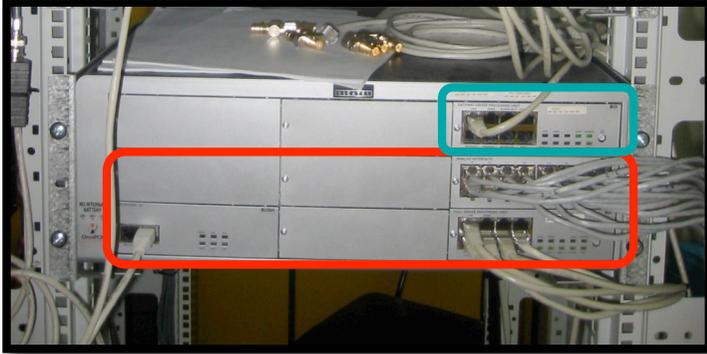
- Emplea un canal dedicado entre las CPUs de los conmutadores
- Puede ser CCS por “canal asociado”
- Los mensajes pasan entre los nodos de conmutación (*store-and-forward*)
- Los mensajes pueden emplear caminos diferentes a los de la voz
- Se crea así una red de conmutación de paquetes para la señalización
- El protocolo empleado hoy en día es el CCITT Signaling System No. 7 (SS7)



Nodo tradicional

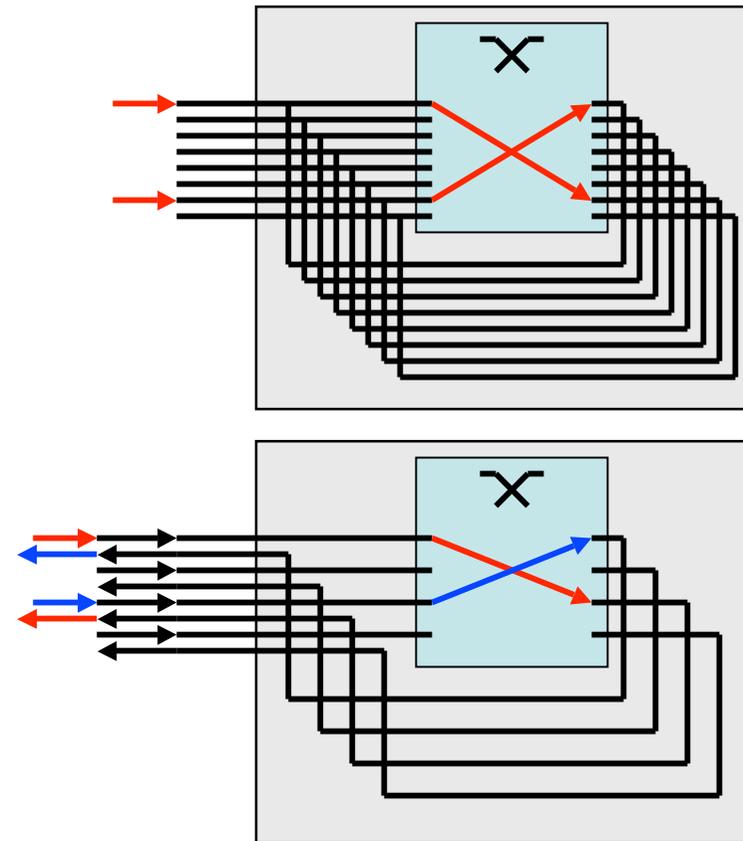
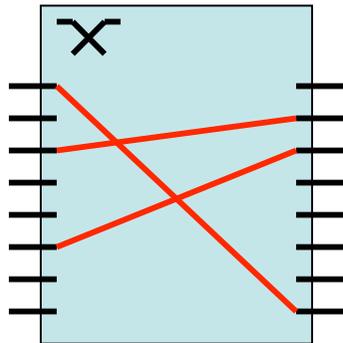


Softswitch



Conmutadores

- Permite conectar líneas de entrada a líneas de salida
- Se puede usar para construir un conmutador que interconecte líneas full duplex entre si



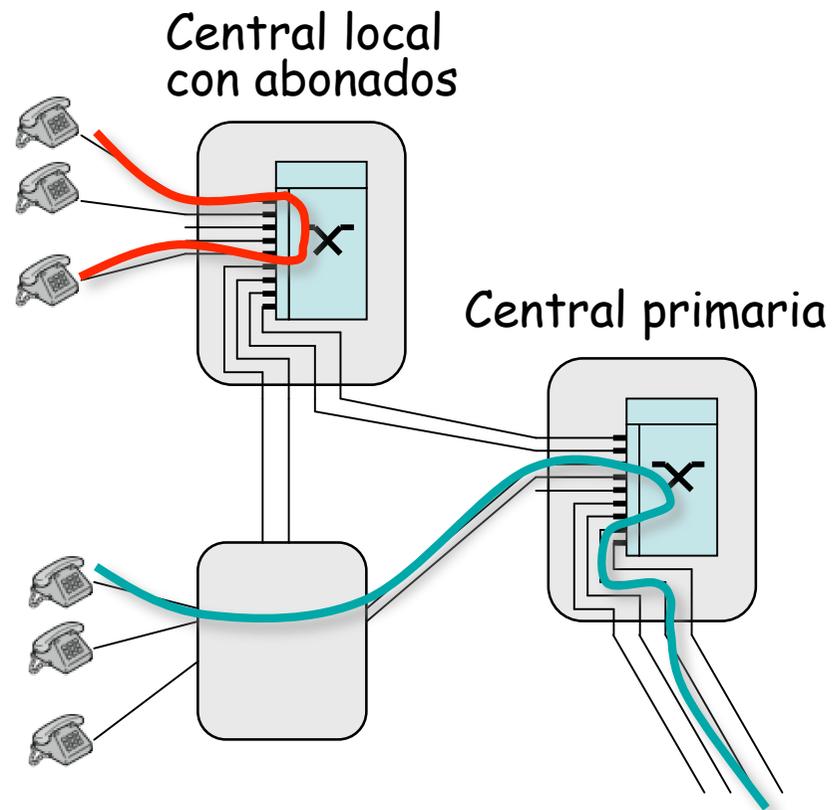
Conmutadores

Line switch

- Central local
- Inteconecta líneas individuales
- Debe conectar una entrada específica con una salida específica

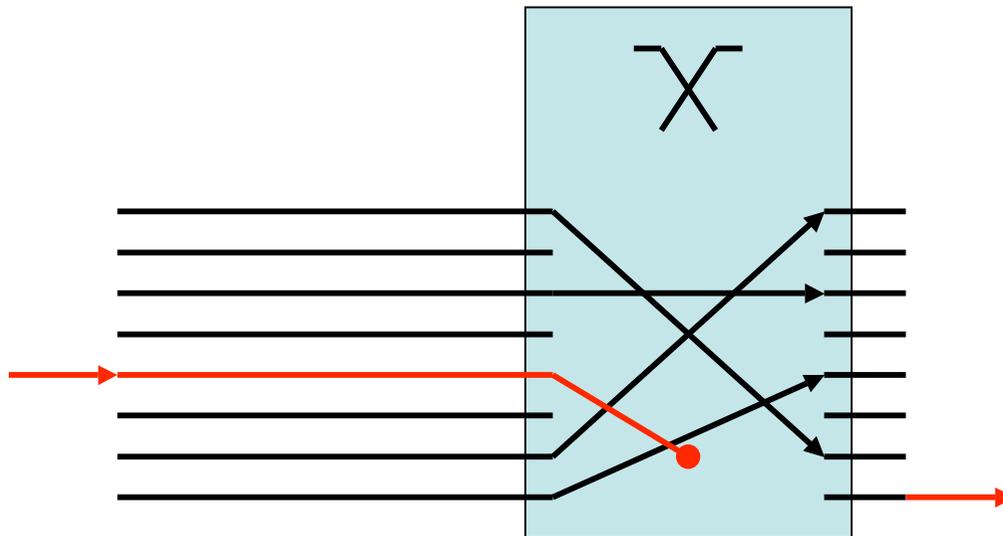
Transit switch

- Interconecta troncales
- Debe conectar una entrada específica con una salida *cualquiera en la dirección correcta*



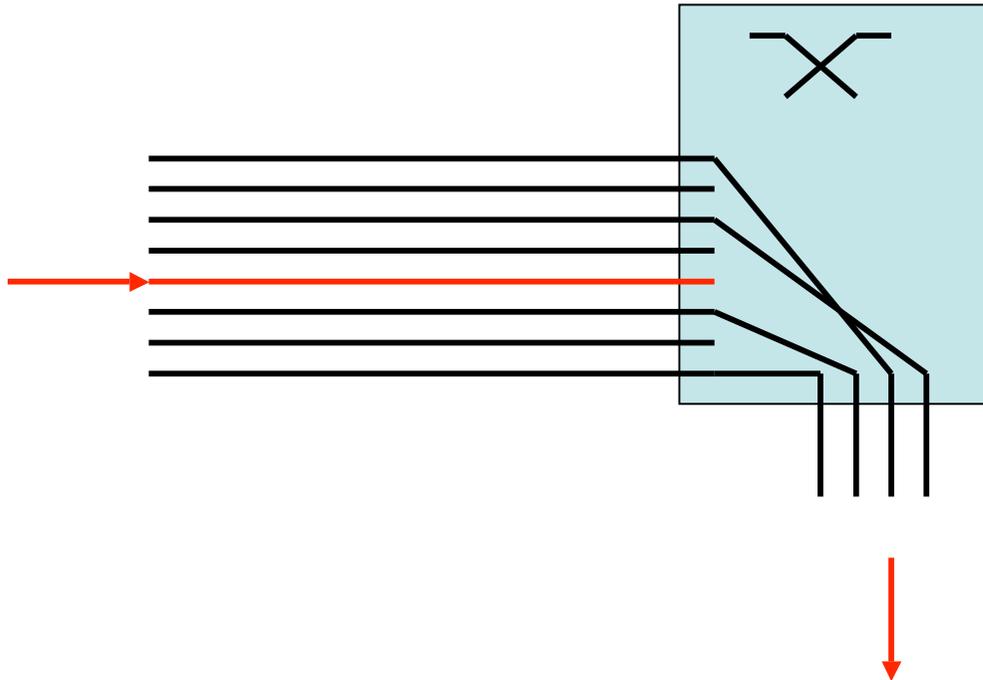
Bloqueo

- Cuando no se puede interconectar dos estaciones aunque estén libres
- Bloqueo interno
 - El conmutador no tiene recursos para hacer llegar un circuito de la entrada a la salida



Bloqueo

- Cuando no se puede interconectar dos estaciones aunque estén libres
- Bloqueo externo
 - El conmutador no tiene suficientes recursos de salida para cursar una nueva llamada



Bloqueo

- Cuando no se puede interconectar dos estaciones aunque estén libres
- Red de conmutación con bloqueo
 - En sistemas de voz se suele utilizar
 - Llamadas de voz suelen ser de corta duración
 - Se dimensiona para que suceda infrecuentemente
- Red de conmutación sin bloqueo
 - Permite a todas las estaciones conectarse a la vez
 - La única causa por la que una conexión puede ser rechazada es porque la estación destino esté ocupada
 - Se utiliza más en redes de conmutación para datos

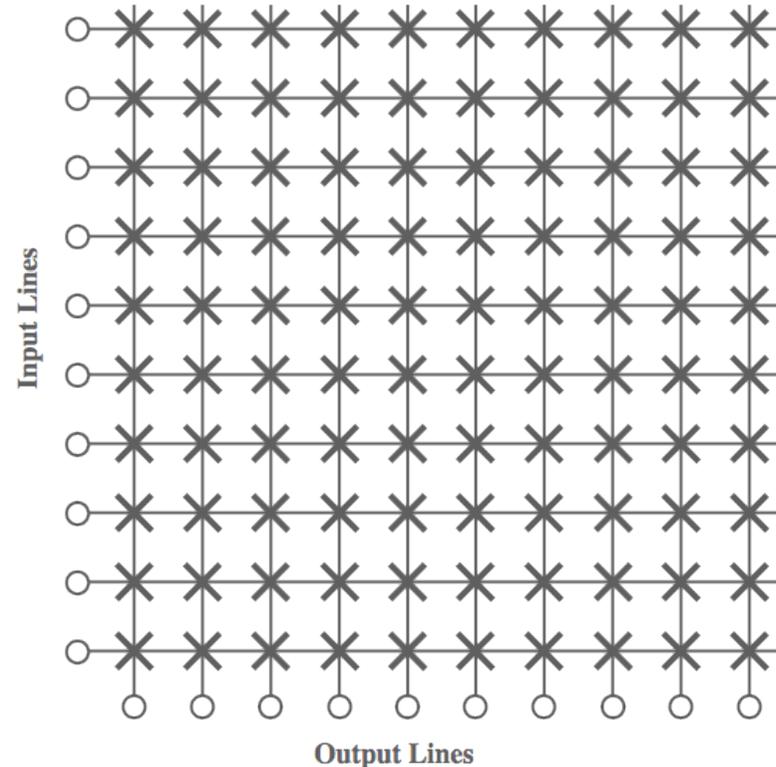
Tipos básicos de conmutadores

- Conmutador espacial (S)
- Conmutador temporal (T)
- Conmutadores por fases (TST, STS...)

Conmutador espacial

- Permite conectar las líneas de entrada con las líneas de salida elegidas (caminos espaciales)
- Tecnología **Crossbar**
 - Un bus por cada línea de entrada
 - Un bus por cada línea de salida
 - *Crosspoints* permiten conectar cada bus a cualquier otro
- La complejidad y coste depende del número de puntos de cruce

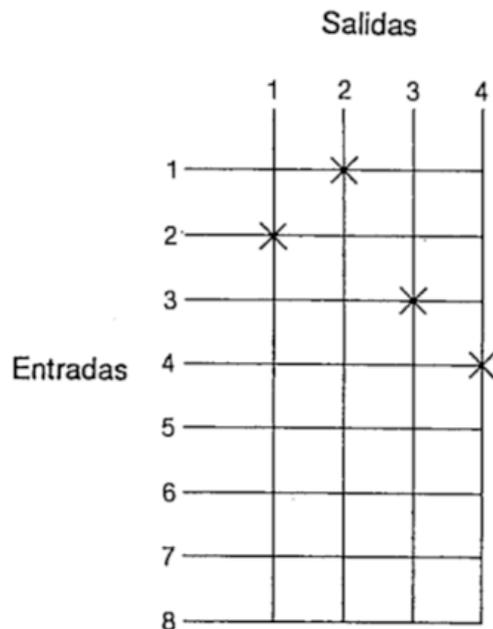
Space division switch



$N \times N$ crossbar matrix ($N=10$)

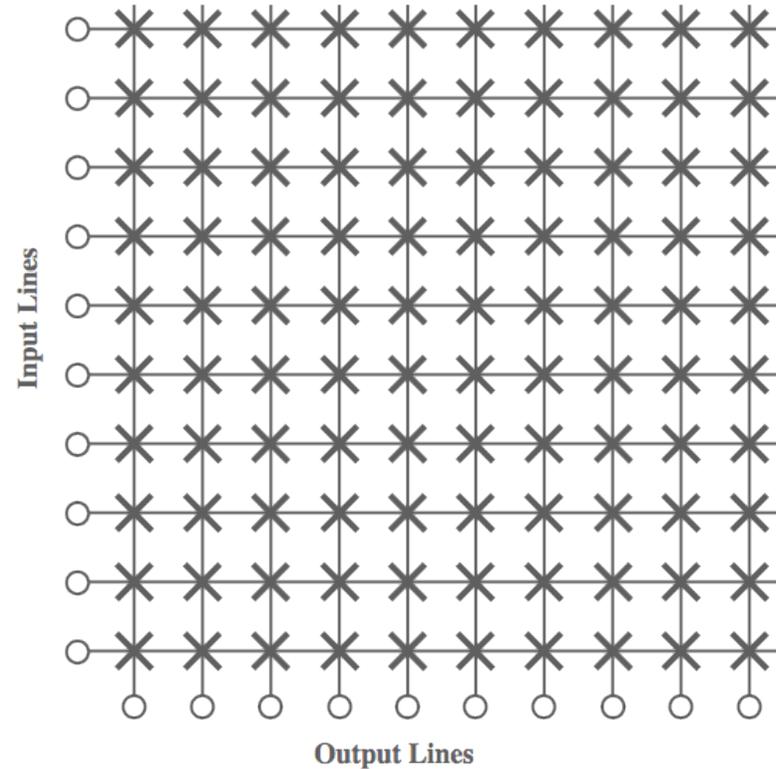
Conmutador espacial

- Conmutador $N \times K$
- Si $K \geq N$: sin bloqueo
- $N \times N$:
 - El número de *crosspoints* crece con N^2
 - Uso de *crosspoints* ineficiente
 - Máx $N/2$ circuitos simultáneos
 - $N^2 - N/2$ *crosspoints* sin utilizar



- ¿Se puede hacer con menos *crosspoints*?

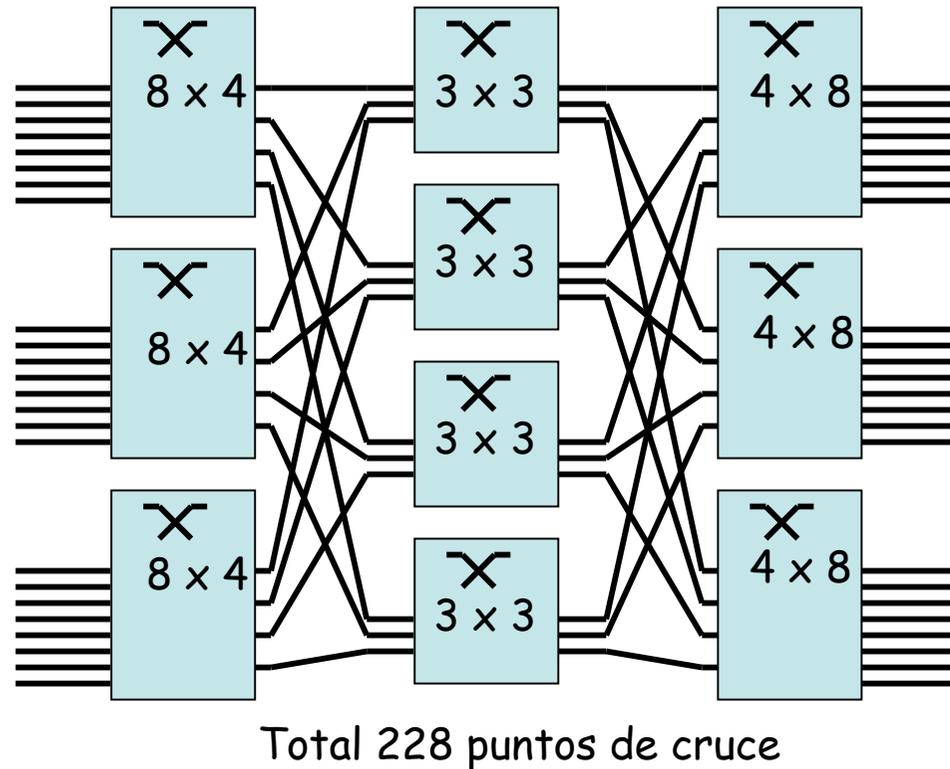
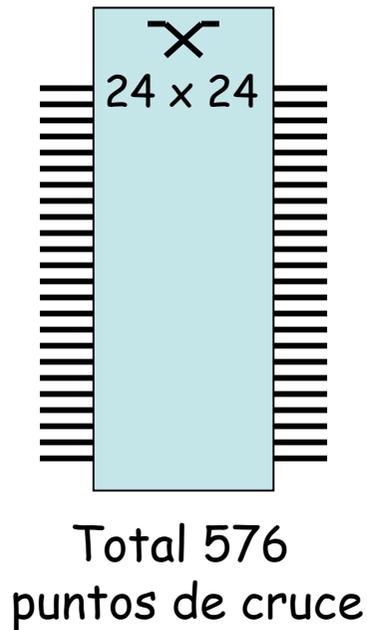
Space division switch



$N \times N$ crossbar matrix ($N=10$)

Conmutador con etapas (*stages*)

- Diferentes etapas
 - Seleccionamos líneas y las mandamos a conmutadores intermedios
 - Los conmutadores intermedios envían las líneas al bloque de salida deseado
 - Conmutadores internos más sencillos
 - Más de un camino interno posible

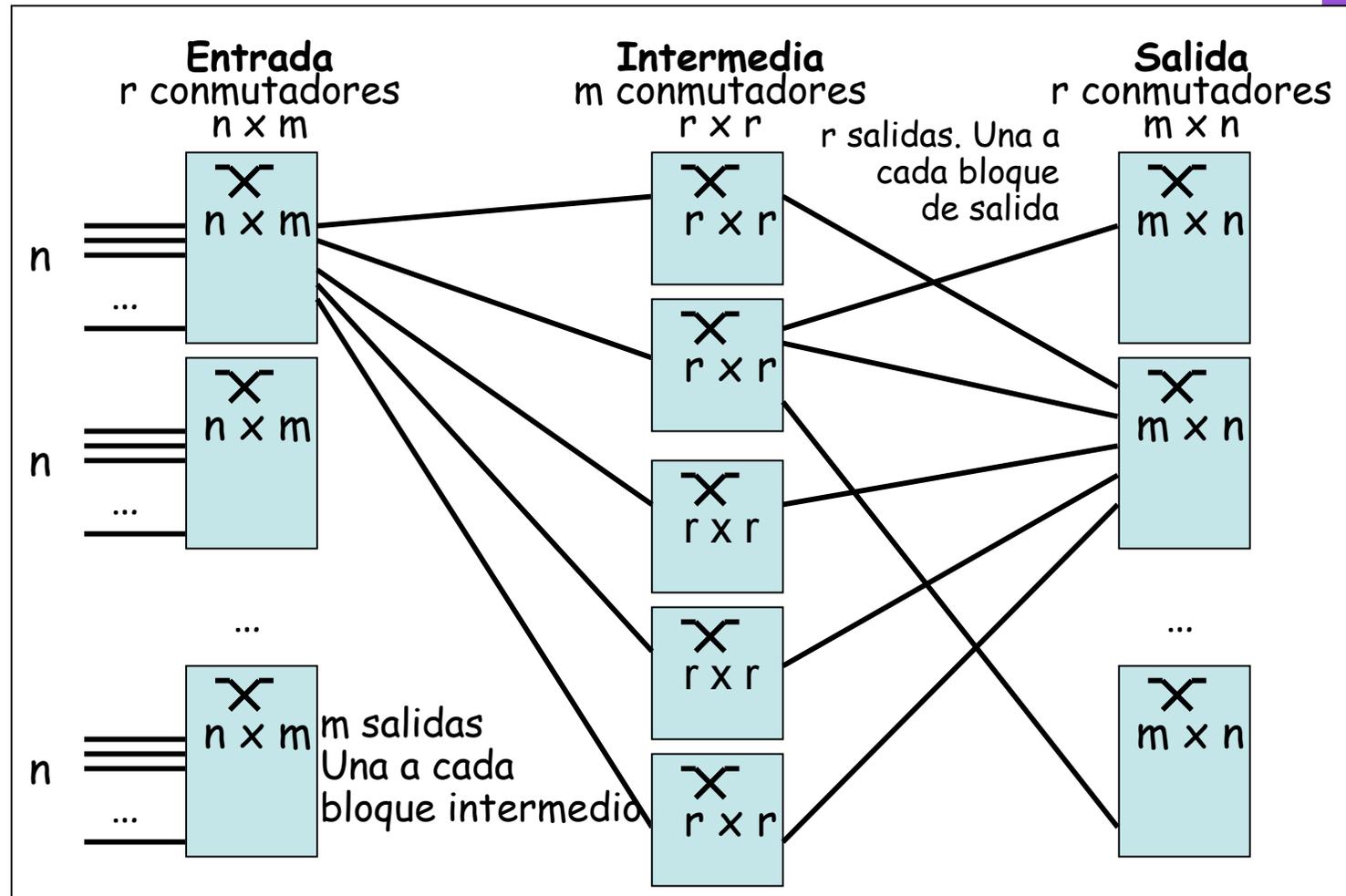
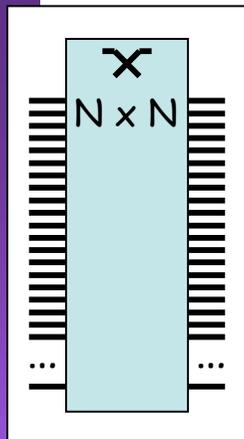


Crosspoints

$C_1 = N^2$ crosspoints

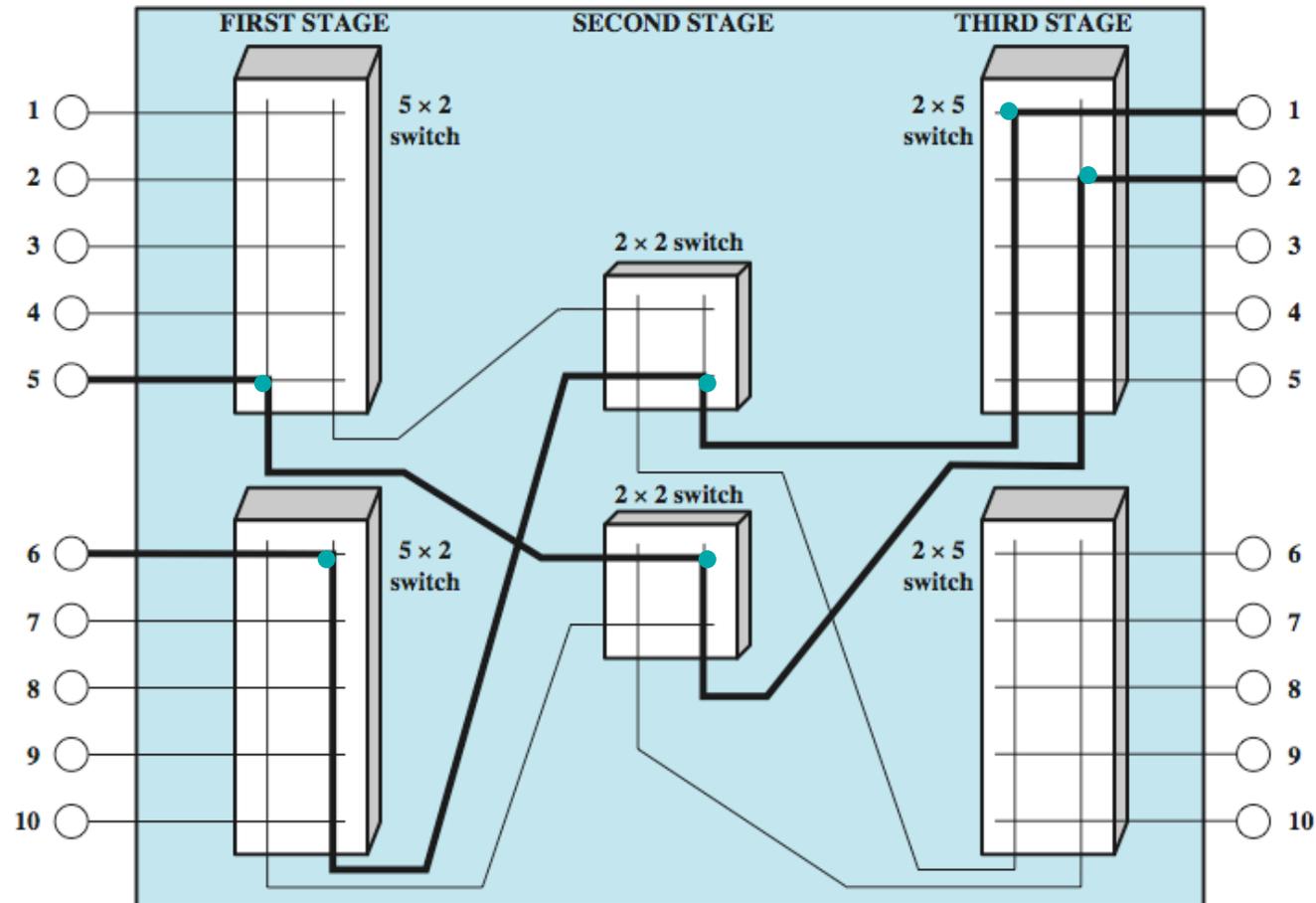
$C_2 =$

$$r = \frac{N}{n}$$

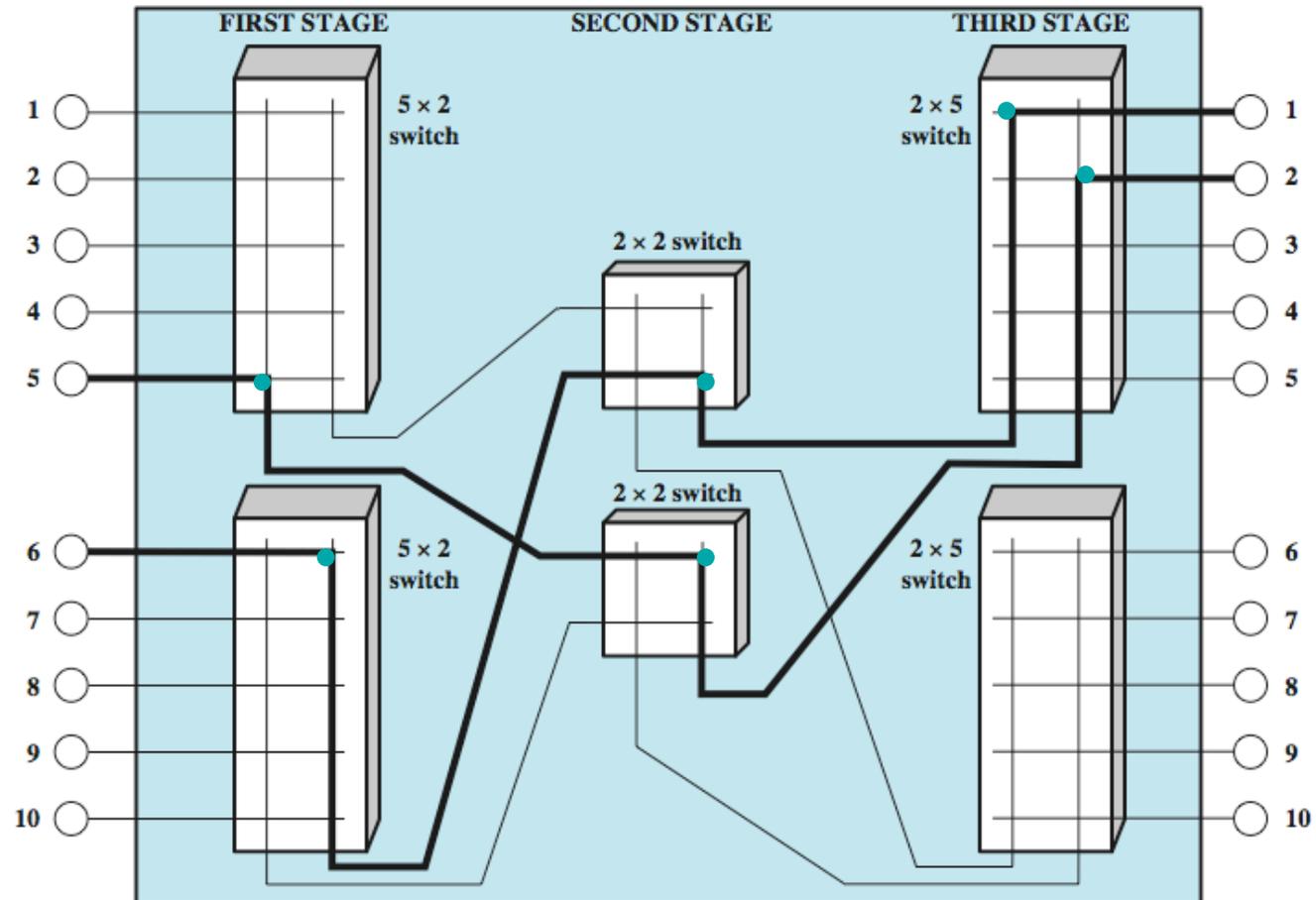


Conmutador 3 etapas

- (3 stage space division switch SSS)
- ¿ Qué problema tiene este conmutador ?

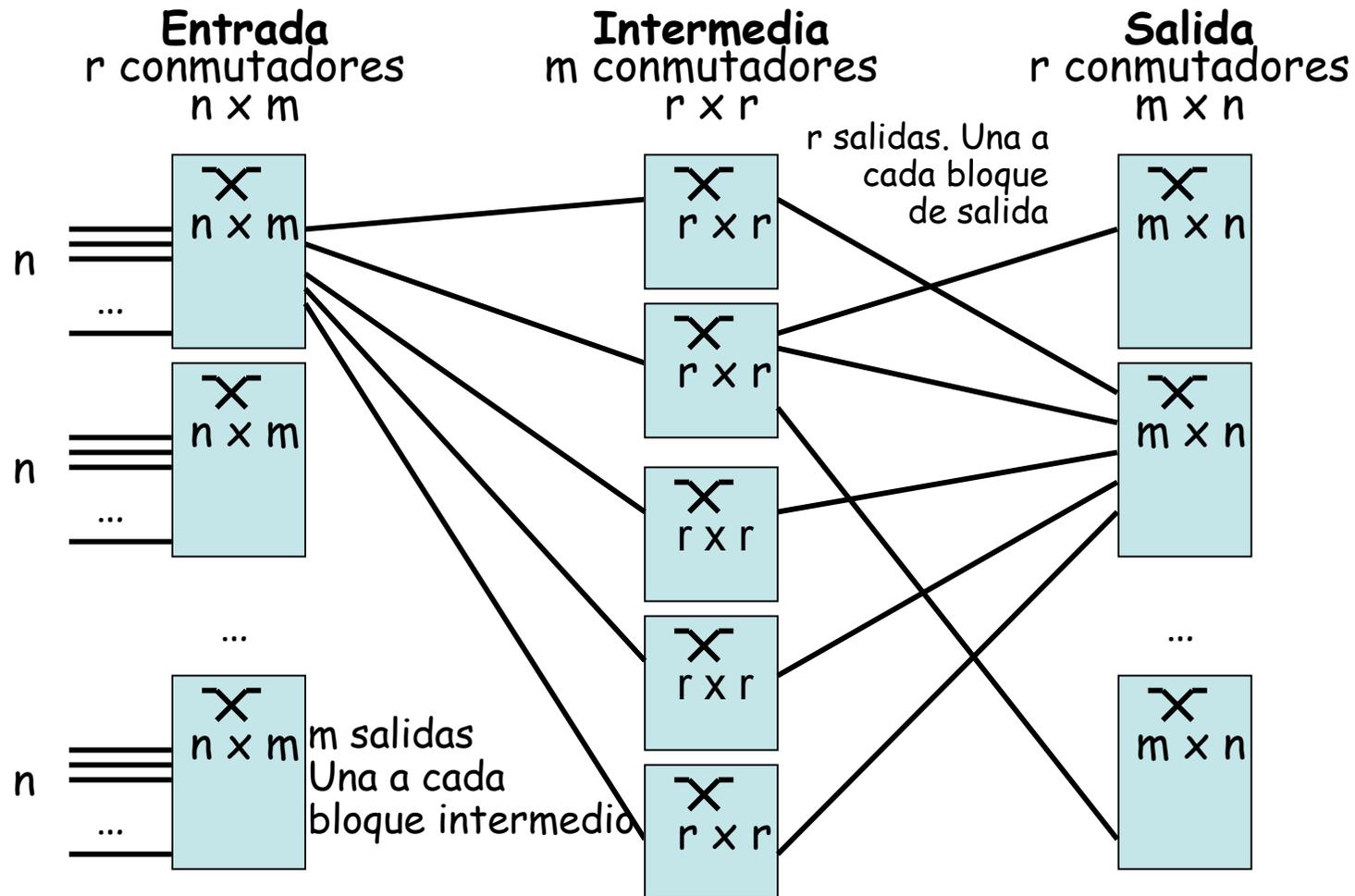


Conmutador 3 etapas



Redes de Clos

- ¿ Cuantos conmutadores intermedios m necesito para que no haya posibilidad de bloqueo interno ?
- Se entiende que al menos $m \geq n$ (evitar bloqueo de la entrada)

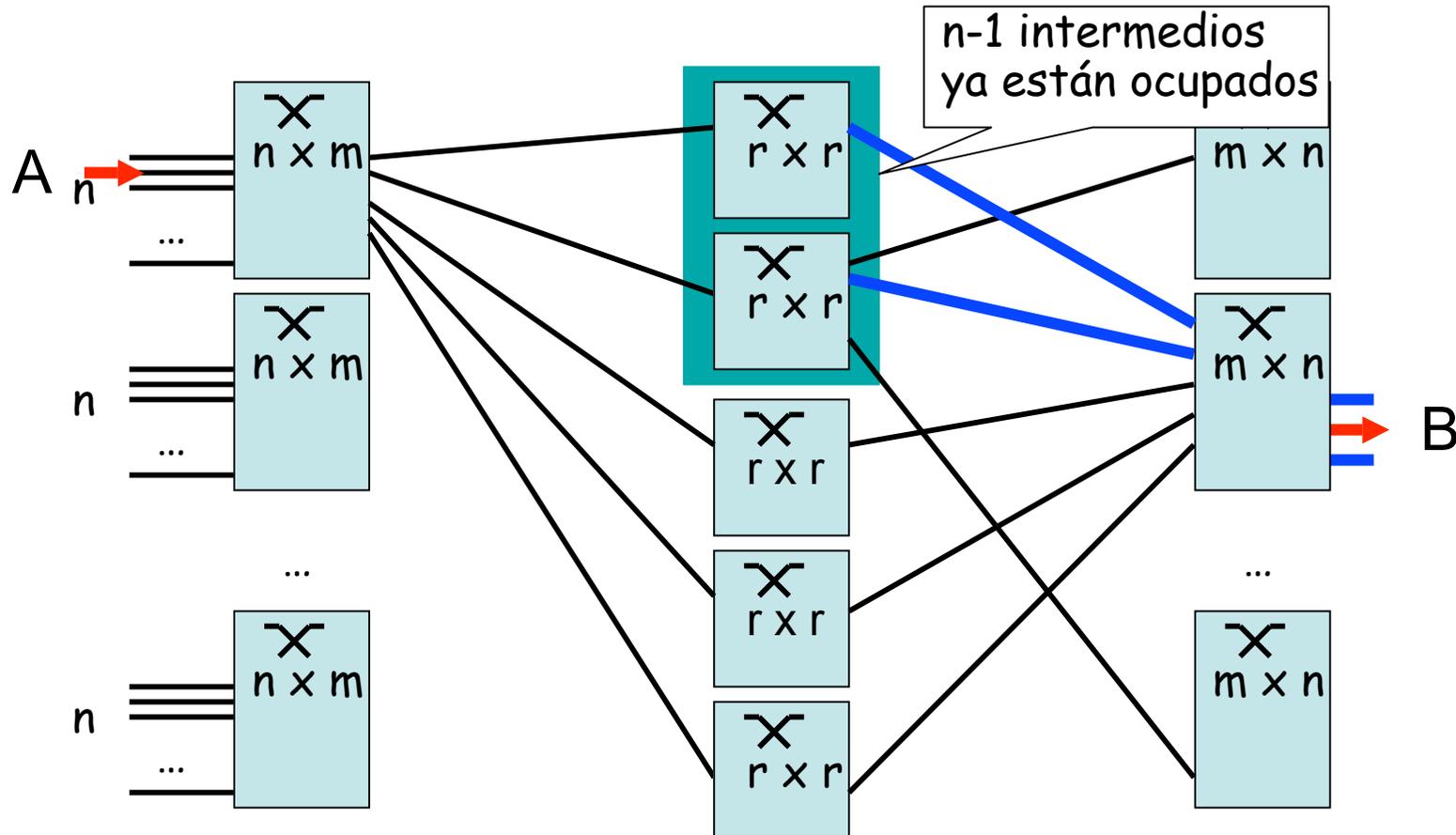


Redes de Clos

Condición en el caso peor

- De la entrada A a la salida B tiene que haber un camino posible
- Tiene que haber al menos un conmutador intermedio que tenga una línea libre al bloque de B
- En el caso peor habrá $n-1$ ocupados, es decir, todas las otras salidas del bloque de salida ocupadas)

Linea A, conectar a la salida B

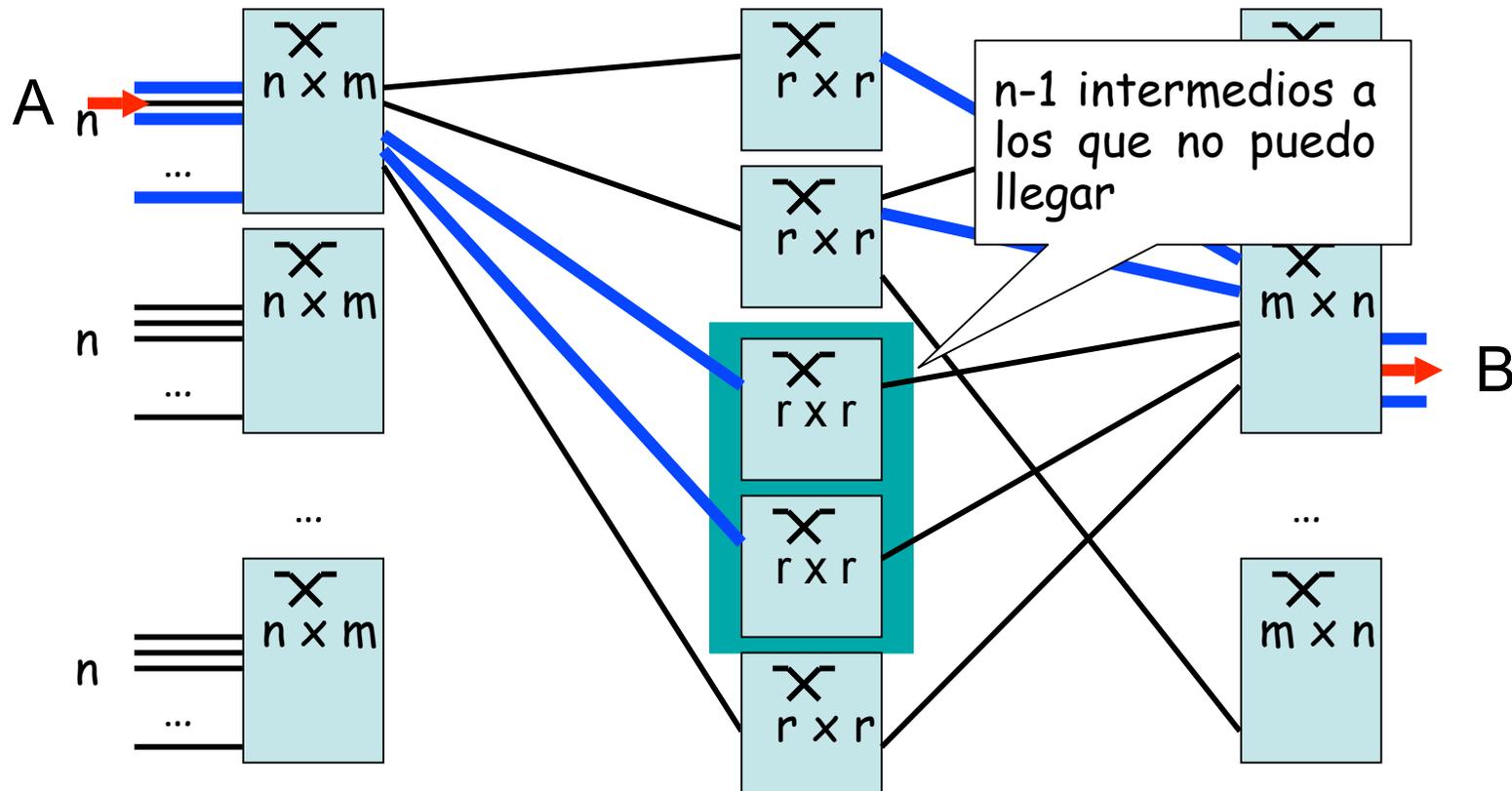


Redes de Clos

Condición en el caso peor

- Tiene que ser un conmutador intermedio al que esté libre la línea desde el bloque de entrada
- En el peor caso los conmutadores intermedios que no puedo usar por las dos razones no serán los mismos
- Tiene que haber conmutadores intermedios suficientes para los dos casos y uno más para tener camino para la llamada nueva

Linea A, conectar a la salida B



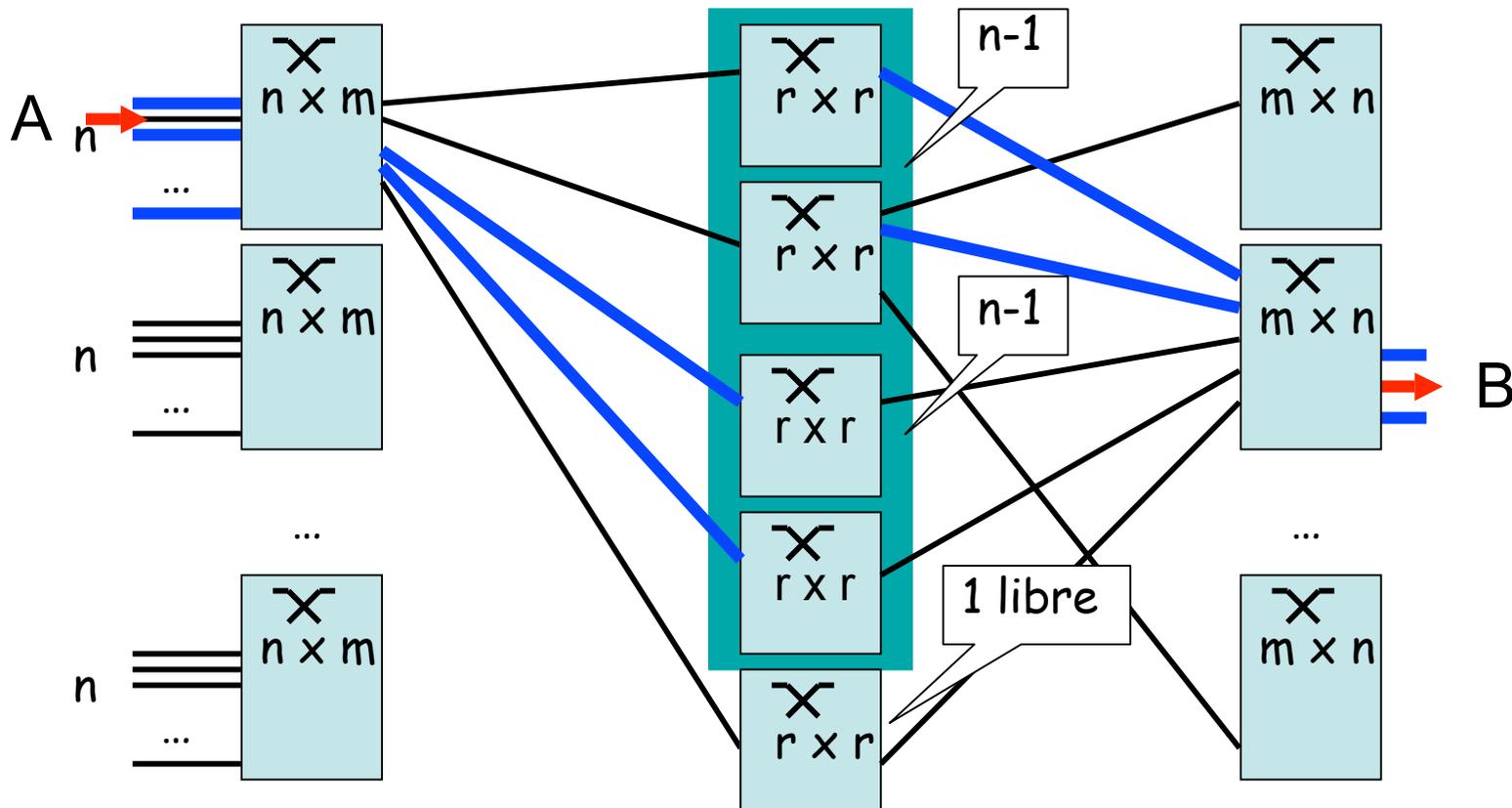
Condición de Clos

- En un conmutador $(r \ n) \times (r \ n)$ formado con m conmutadores intermedios el número m de conmutadores intermedios necesarios para que no exista probabilidad de bloqueo tiene que ser al menos

$$m \geq 2 \times (n-1) + 1$$

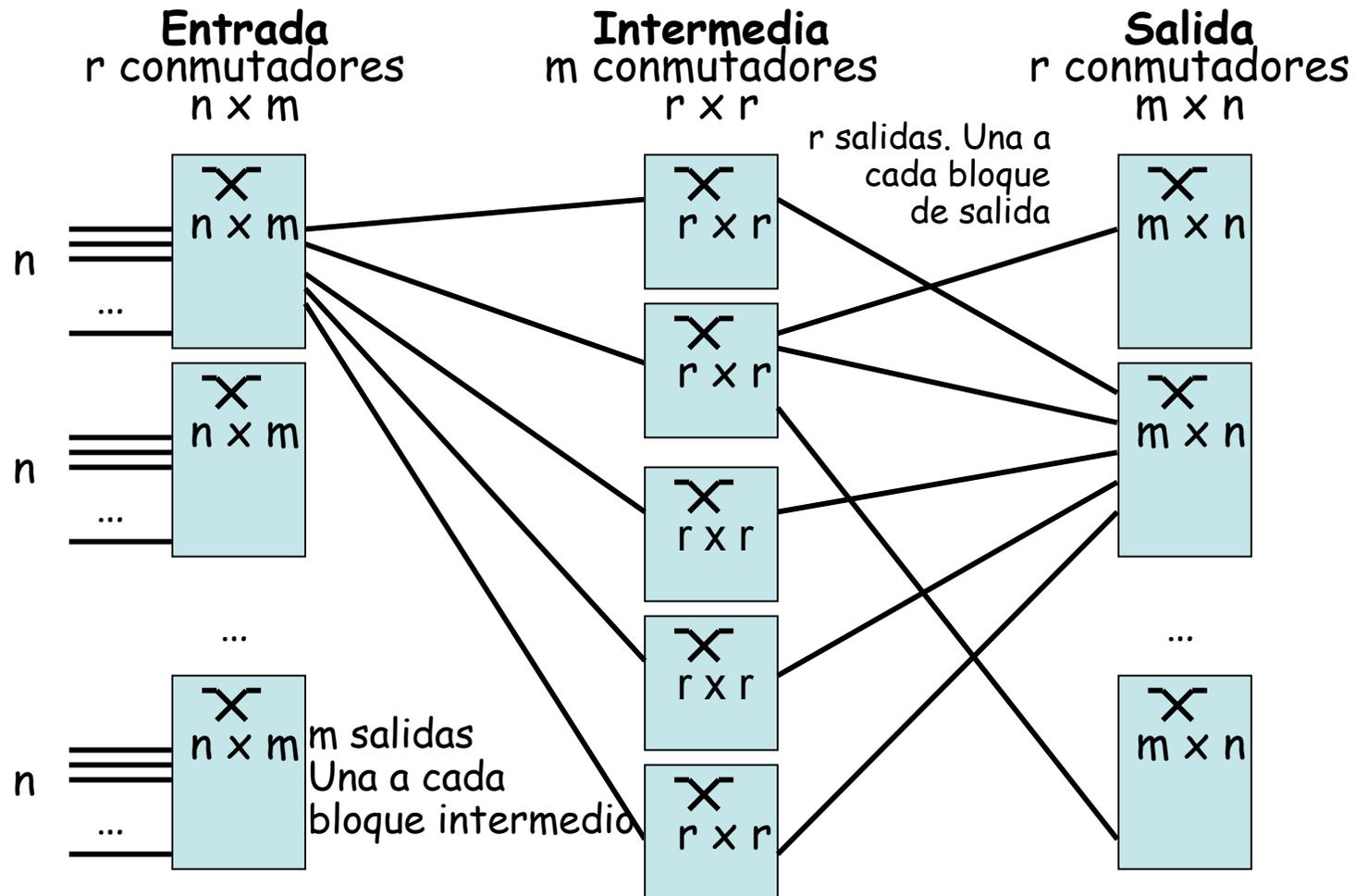
$$m \geq 2n - 1$$
- Un conmutador construido así no tiene bloqueo interno y tendrá normalmente menos puntos de cruce que un *crossbar* entero

Linea A, conectar a la salida B



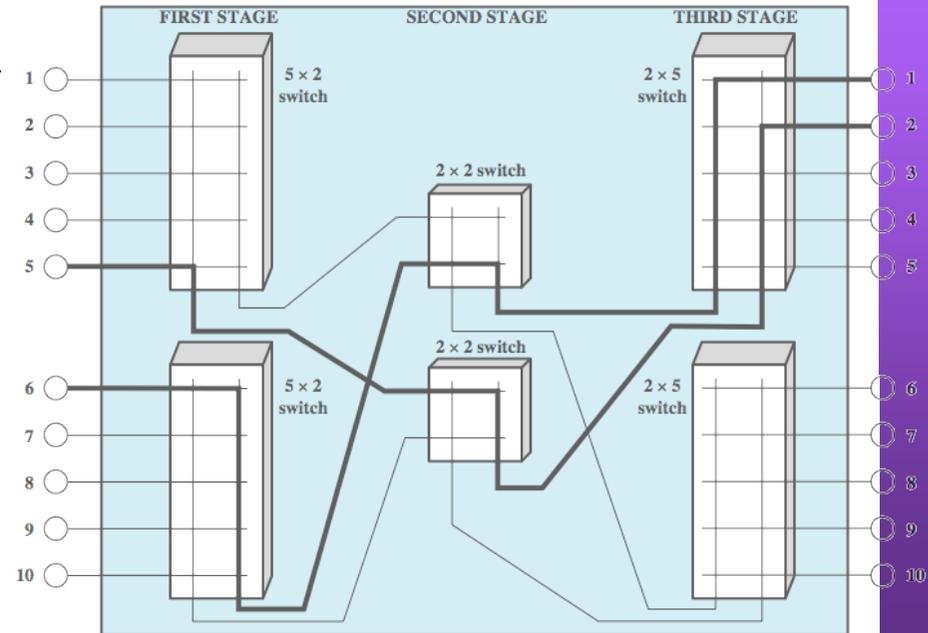
Número de puntos de cruce

- Como ya se vio:



Conmutador 3 etapas

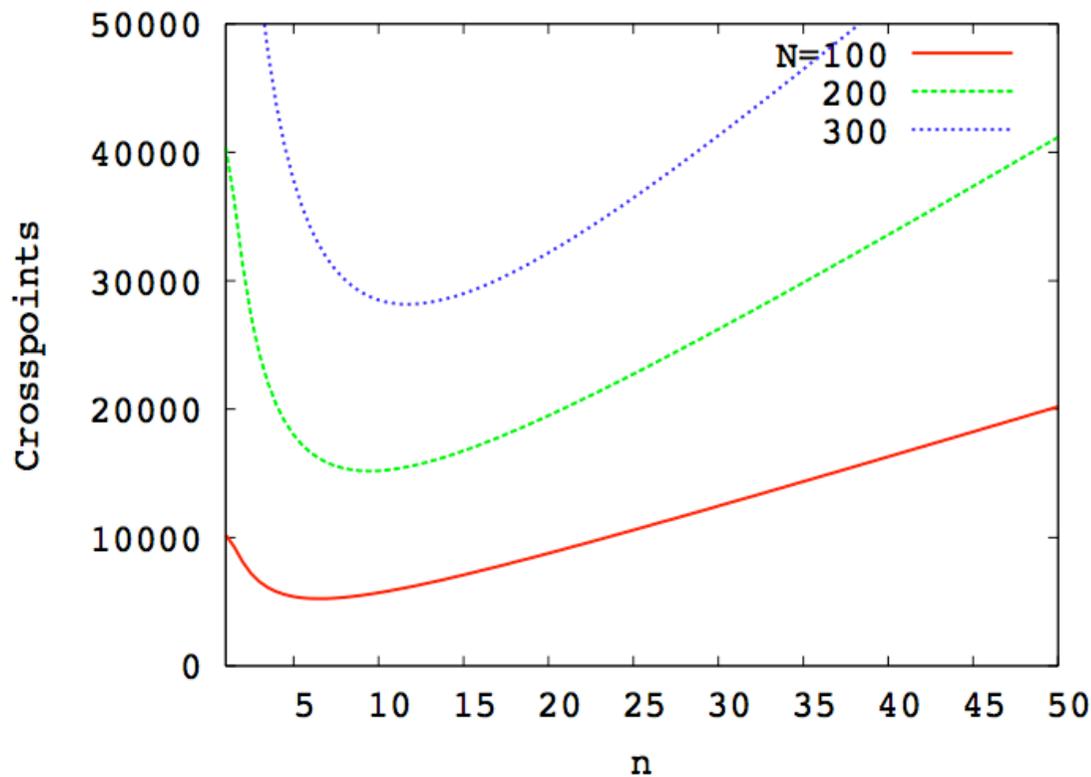
- El ejemplo anterior no cumplía la condición de Clos →
- ¿Cuántos conmutadores intermedios necesitamos para que no pueda tener bloqueo?



- *Crosspoints* en el ejemplo: ____.
- *Crosspoints* necesarios para un *crossbar* 10×10 : ____.
- Cumpliendo la condición de Clos: _____.
- ¡ El ser multietapa no garantiza menos puntos de cruce !

Crosspoints

- Conmutador 3 etapas que cumple la condición de Clos mínima
- C = número de *crosspoints*



¿Mínimo número de *crosspoints*?

Ejemplo: si $N=100.000$

$$C_{crossbar} = 10^{10}$$

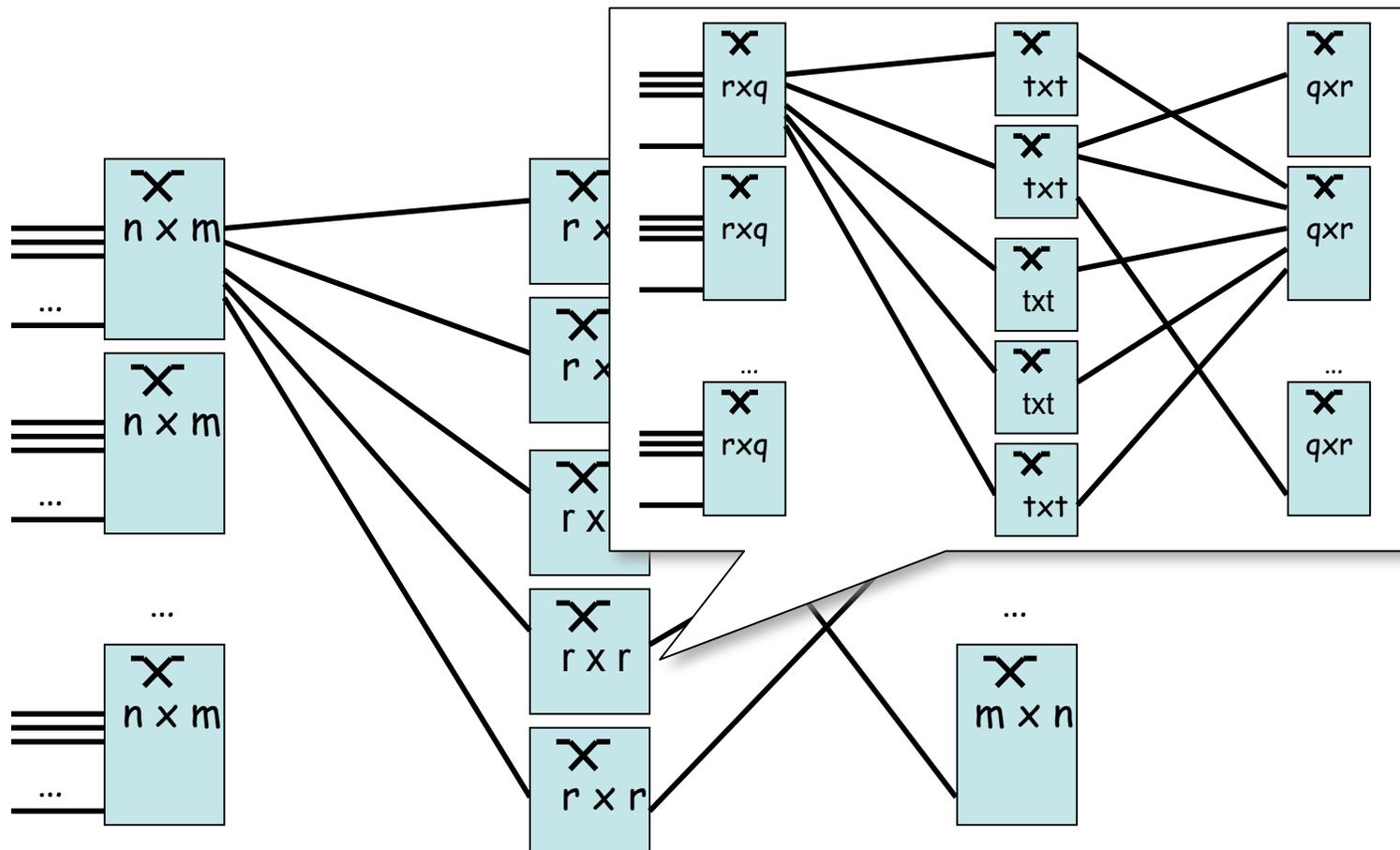
$$C_{nb, \acute{o}pt} =$$

Conmutadores espaciales multietapa

- Los conmutadores que cumplen la condición de Clos no tienen bloqueo interno
- Los conmutadores que cumplen la condición $m \geq n$
 - Se puede hacer que no tengan bloqueo interno
 - Hace falta que el sistema de control sea capaz de recolocar llamadas ya establecidas
 - *Rearrangeably nonblocking Clos networks*
- Escalan mejor que un *crossbar* al aumentar el número de entradas
- Seguimos necesitando muchos puntos de cruce para conmutar centenares de miles de canales telefónicos
- Optimizando aún más

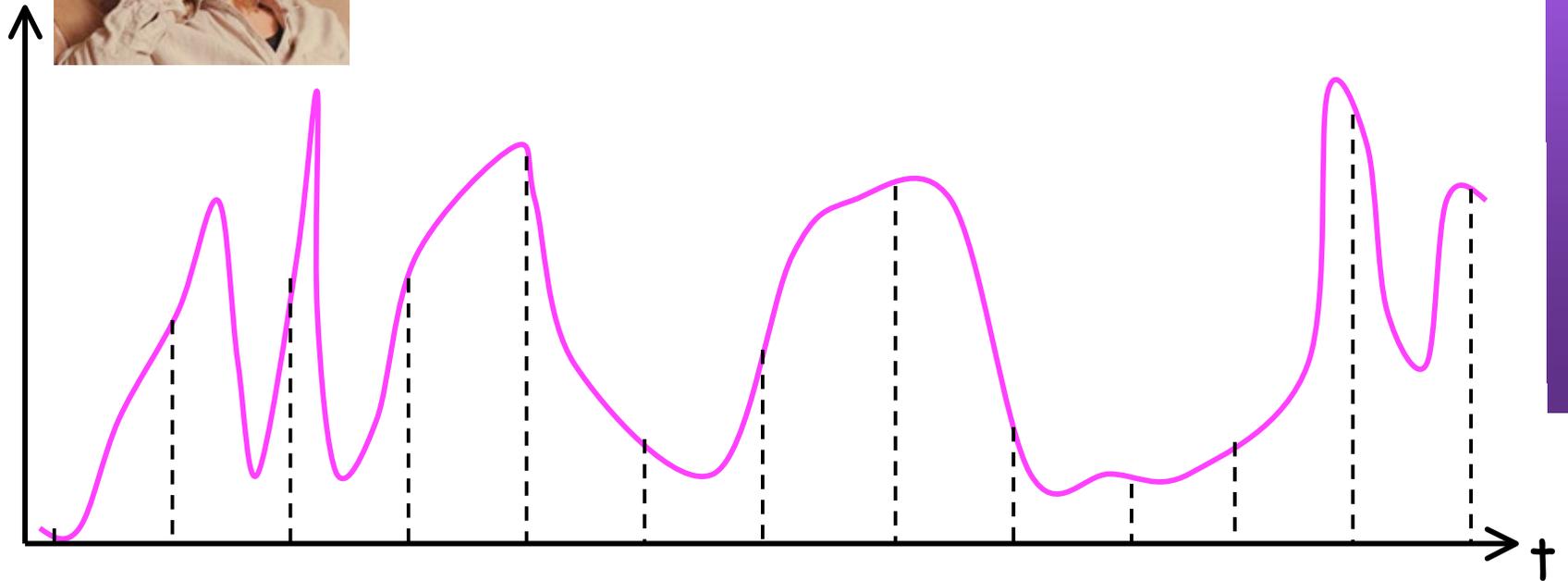
Reducir más el nº de crosspoints

- a) Permitir cierto grado de bloqueo (pequeña probabilidad)
- b) Extender el número de etapas



Voz digital

- 8.000 muestras por segundo
- $T_s = 125 \mu s$
- 8 bits/muestra



5 30 37 37 45 20 28 41 26 18 19 50 42



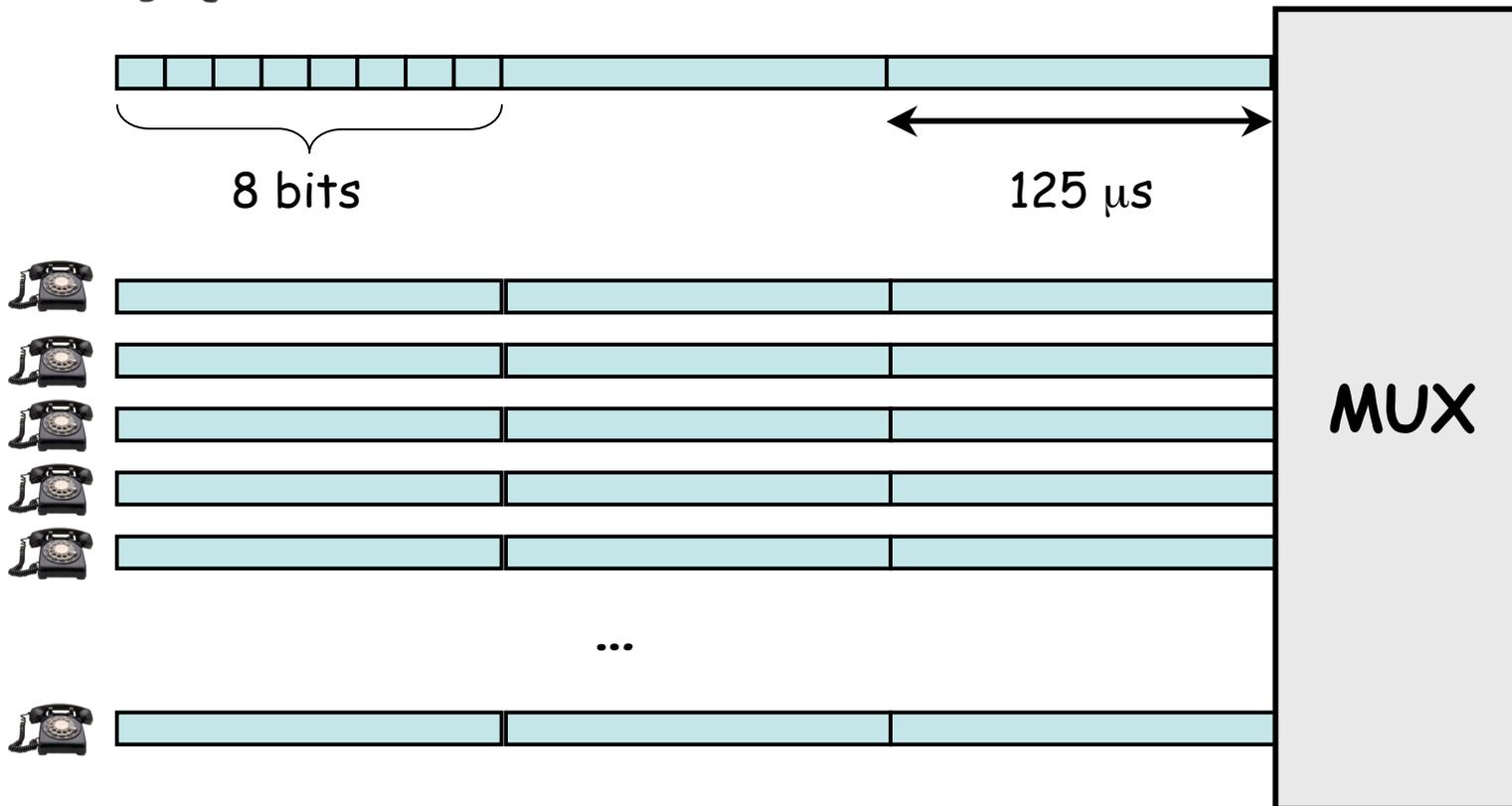
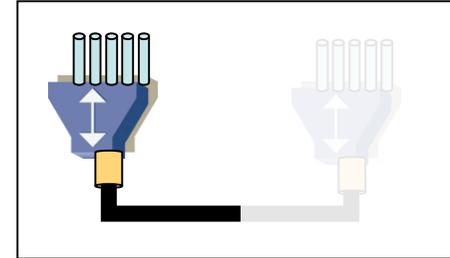
8 bits

125 μs

\Rightarrow 64Kbps

Multiplexación TDM

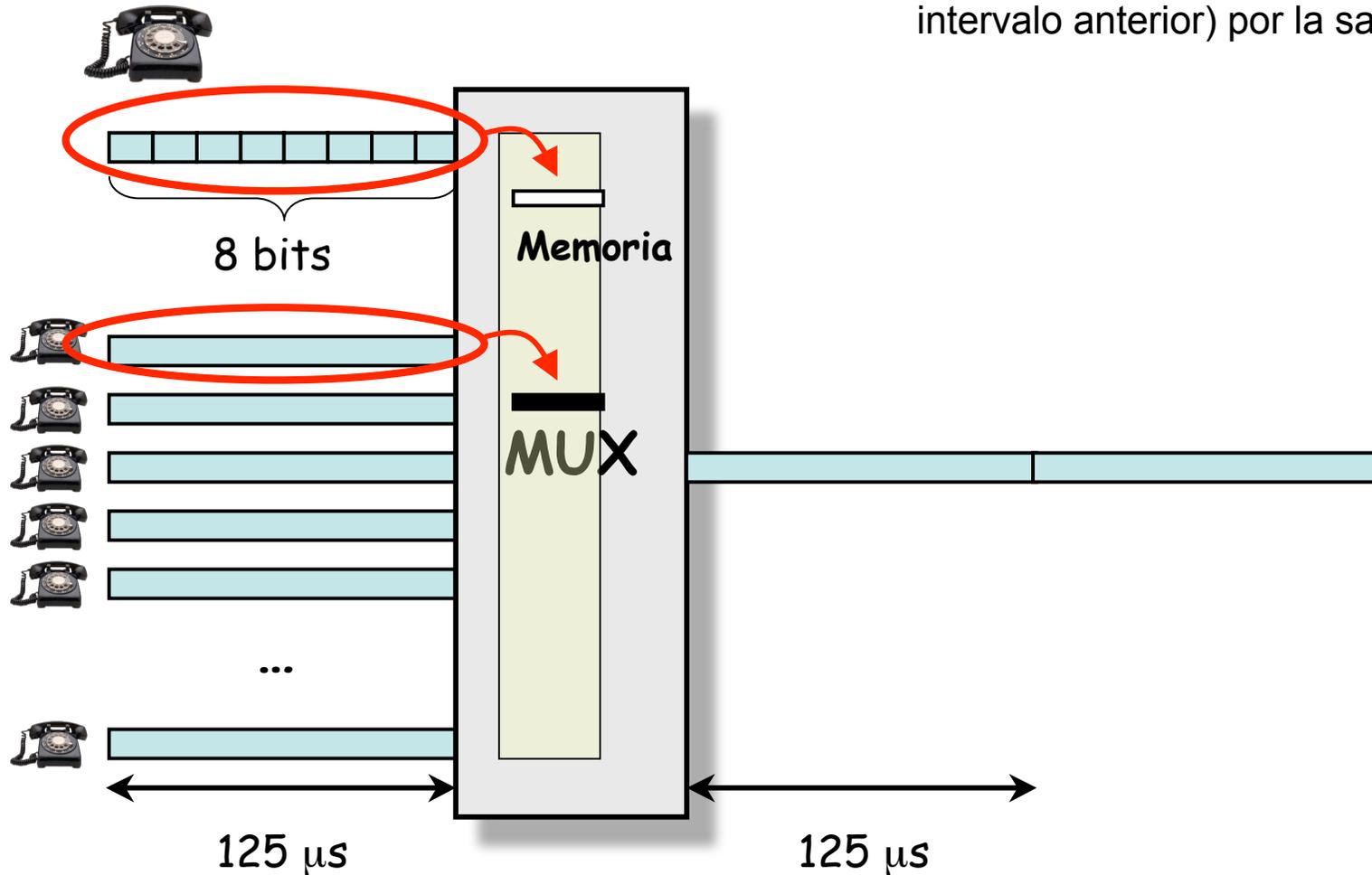
- Las líneas troncales multiplexan los canales de voz en un mismo canal espacial



Multiplexación TDM

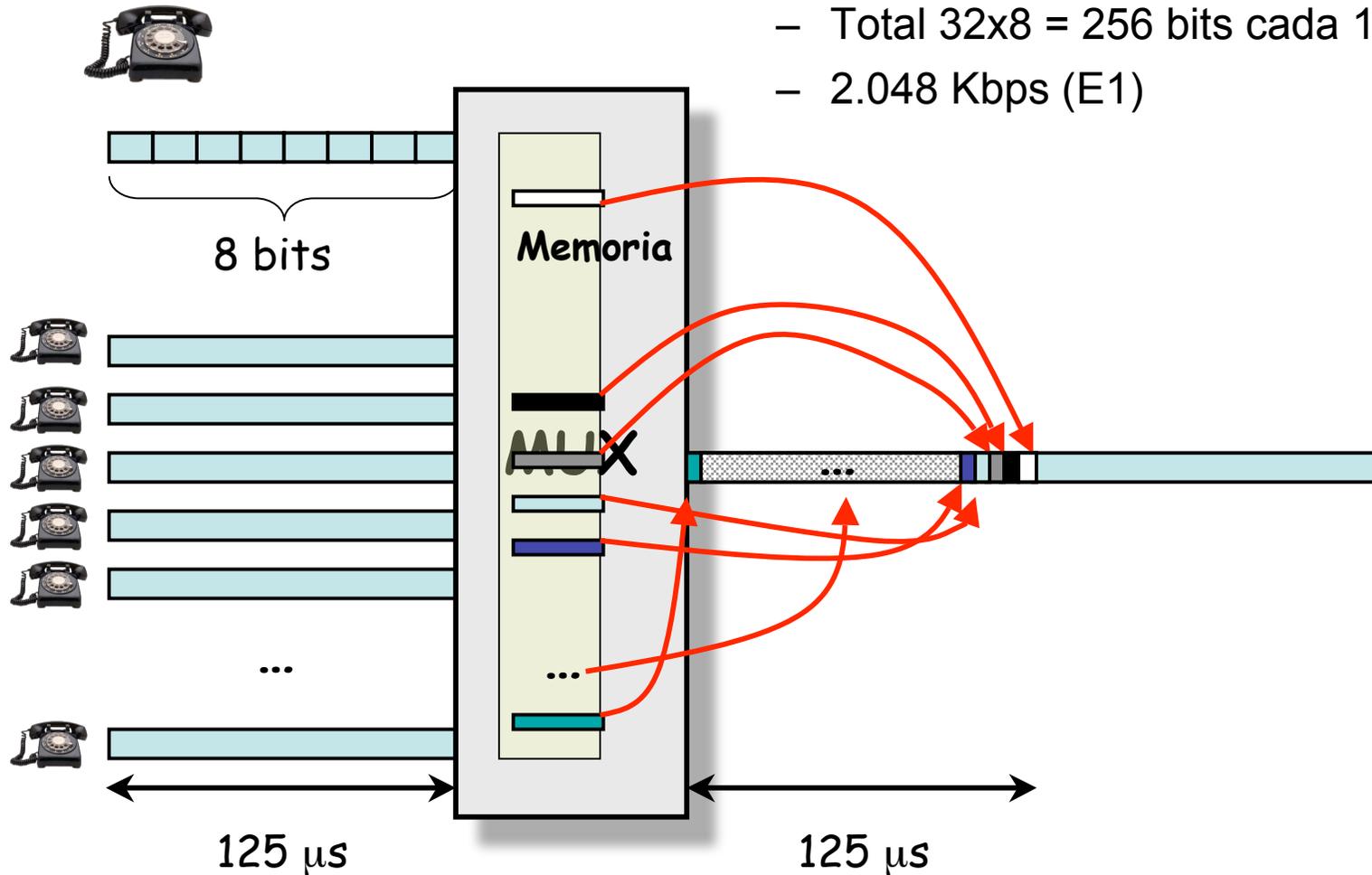
- Las líneas troncales multiplexan los canales de voz en un mismo canal espacial

- En cada ∂t el MUX
 - Recibe una muestra de voz de cada una de las líneas
 - Envía N muestras de voz (del intervalo anterior) por la salida



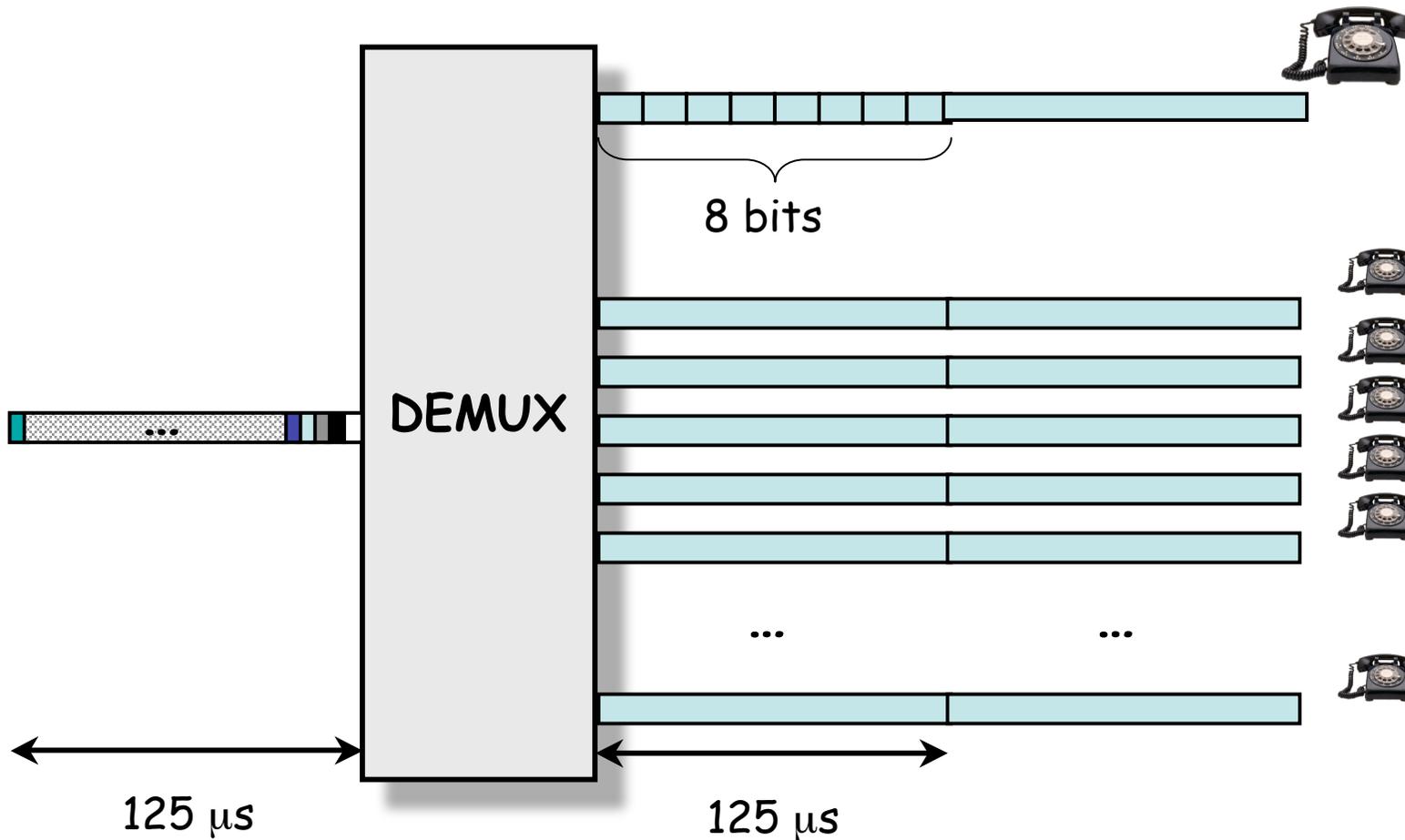
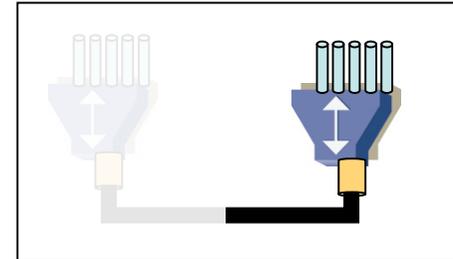
Multiplexación TDM

- Ejemplo
 - 32 canales de voz
 - Cada canal 8bits cada $125 \mu\text{s}$
 - Total $32 \times 8 = 256$ bits cada $125 \mu\text{s}$
 - 2.048 Kbps (E1)

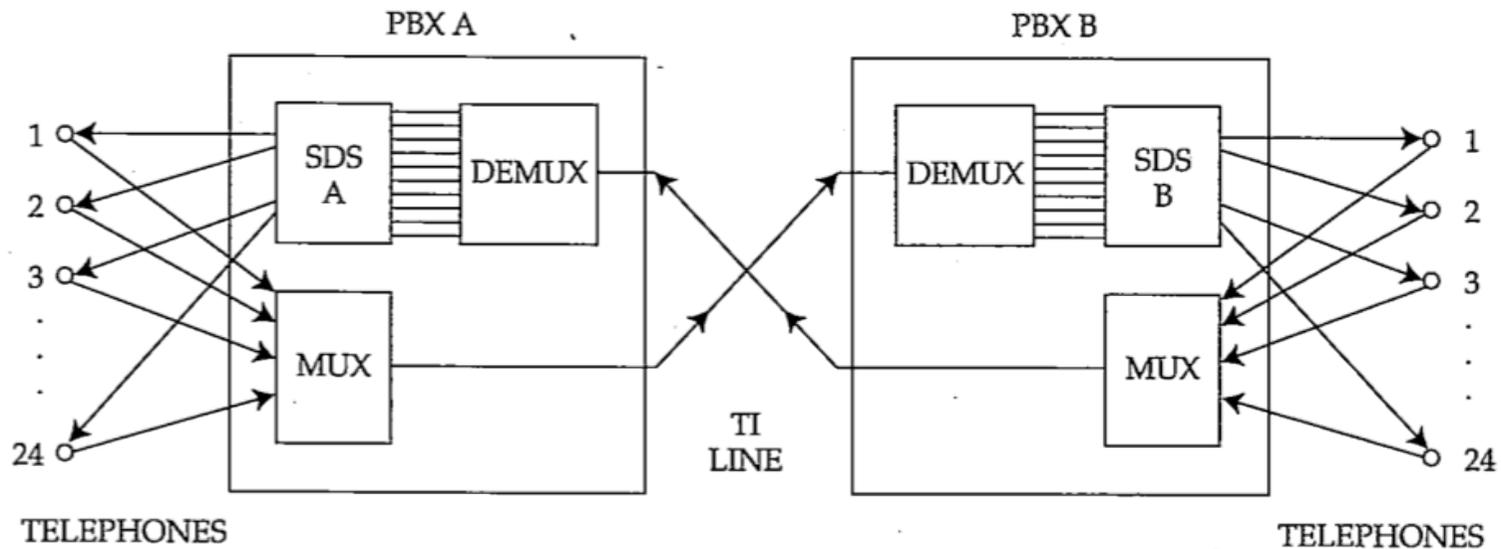
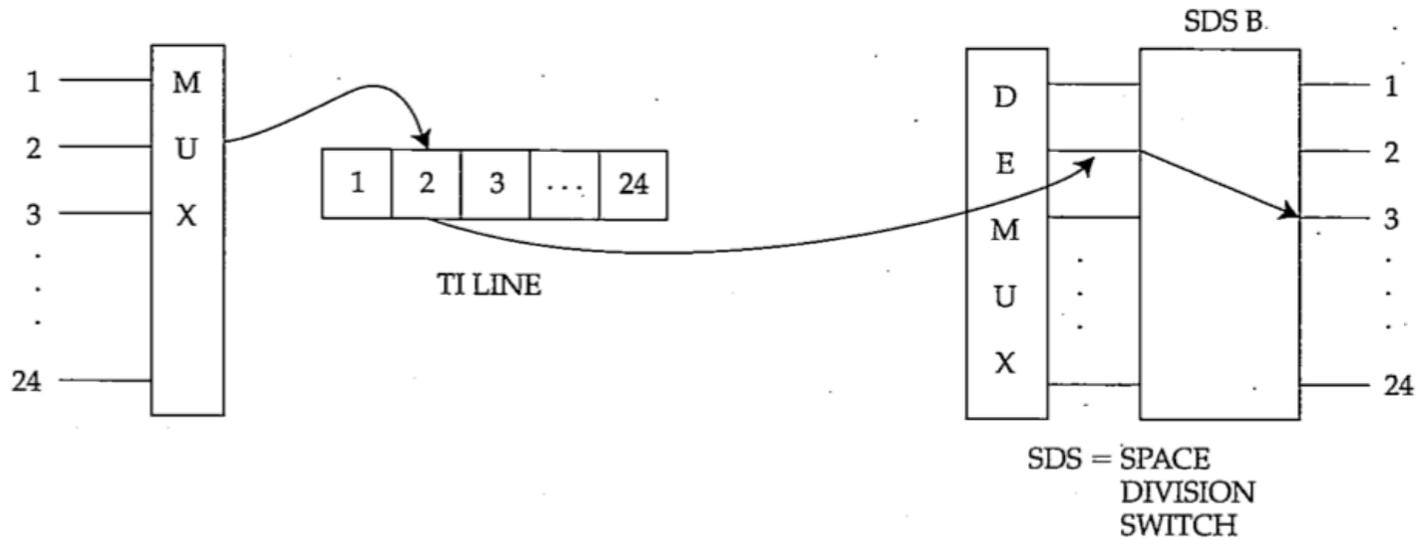


Demultiplexación TDM

- Proceso inverso
- Una entrada
- N salidas de velocidad N veces menor



Space Digital Switch (SDS)

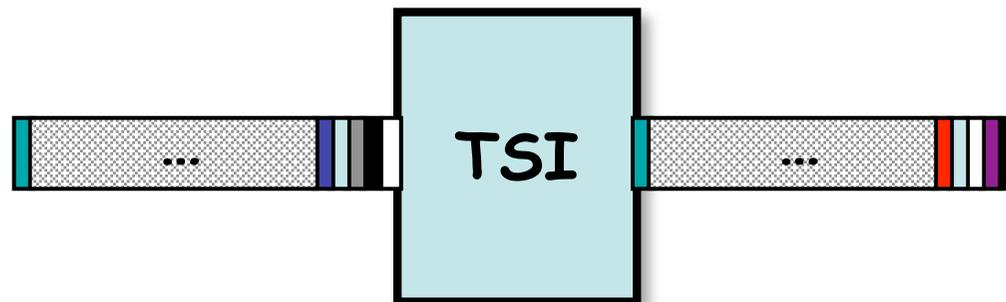


Conmutación temporal

(Time-division Switching)

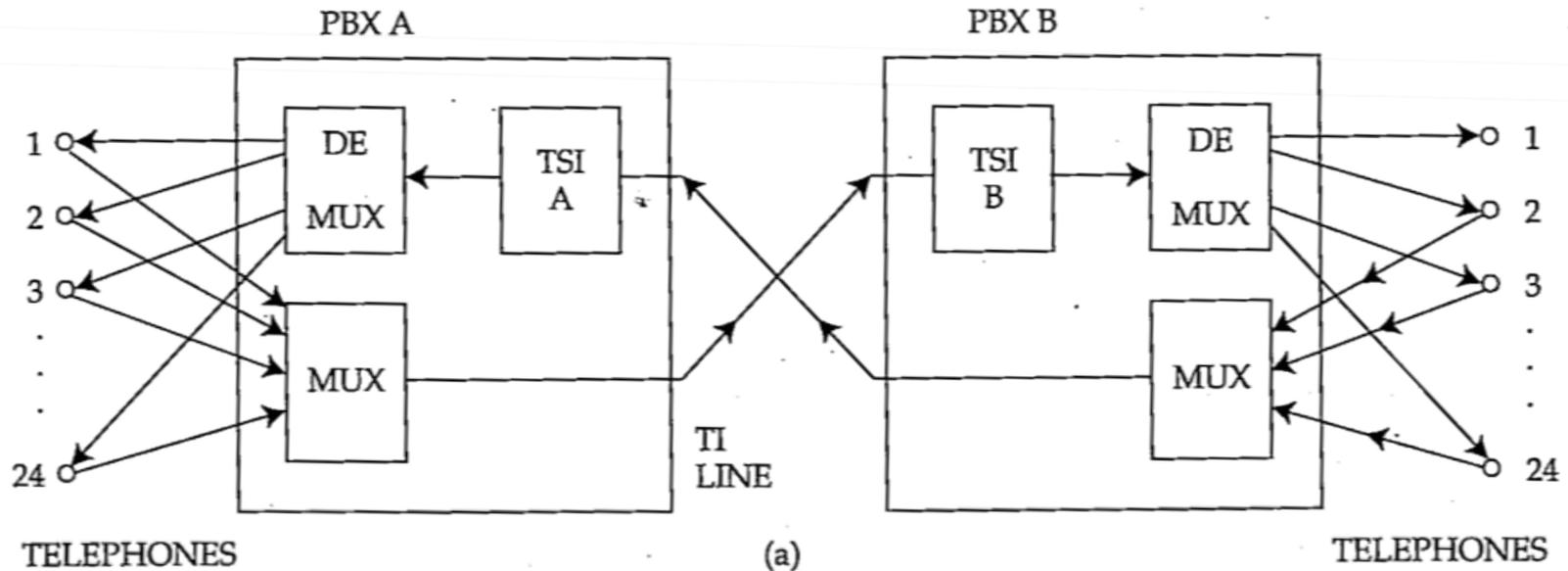
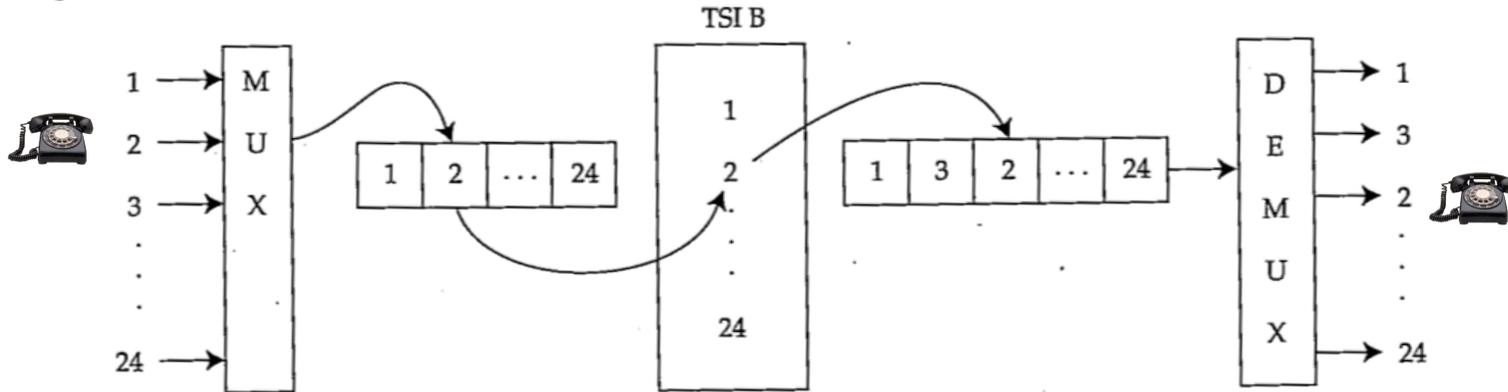
TSI = Time Slot Interchanger

- Una entrada y una salida
- Ambas llevan N canales de voz multiplexados
- Guarda las muestras de entrada en un buffer de N bytes (una por circuito)
- Las reescribe en diferente orden
- Combinado con MUX/DEMUX el resultado es conmutación



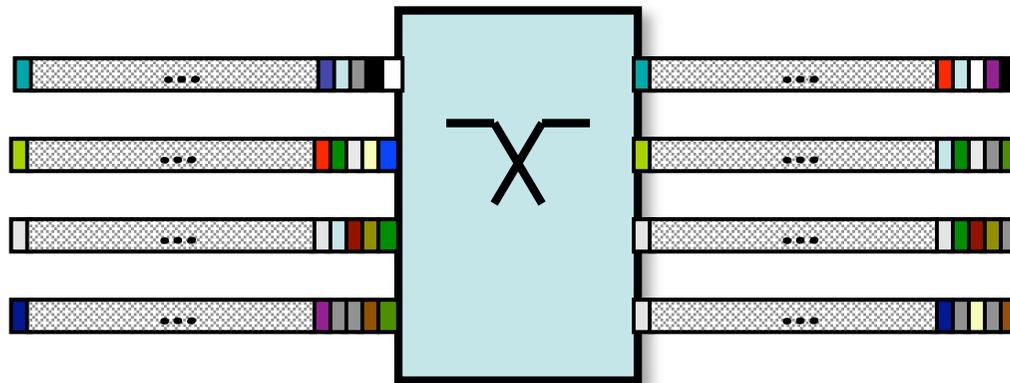
Time Slot Interchanger

- Ejemplo



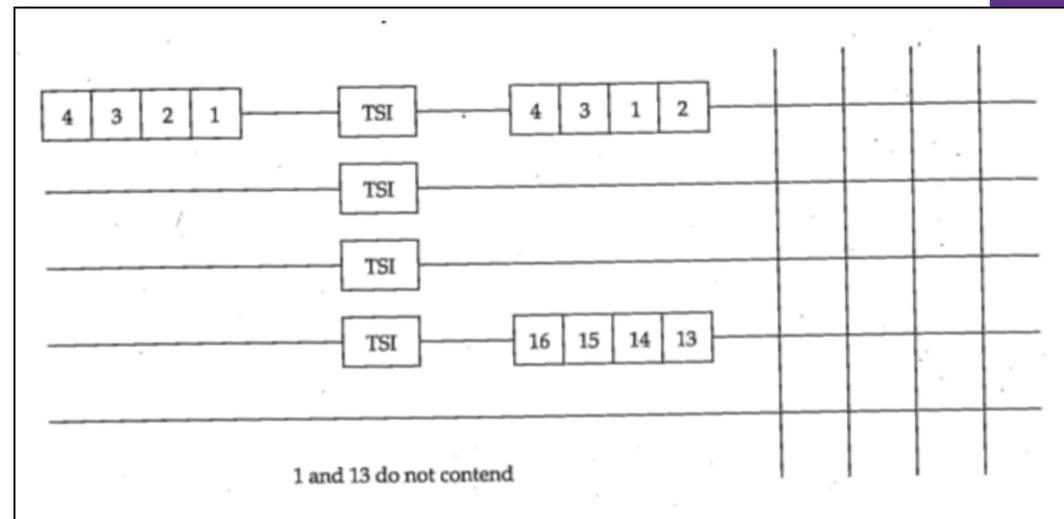
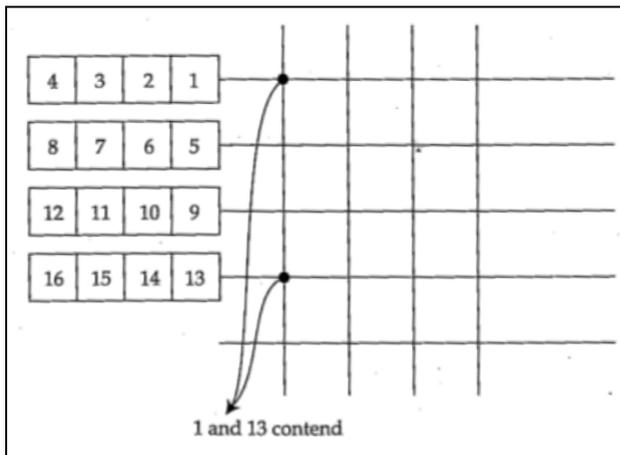
Problemas construyendo un TSI

- El límite es el tiempo necesario para leer y escribir a memoria
- Para 120000 circuitos
 - Leer y escribir una muestra de cada uno una vez cada 125 microsegundos
 - Cada operación necesitaría hacerse en menos de 0.5 ns
- Otras técnicas...



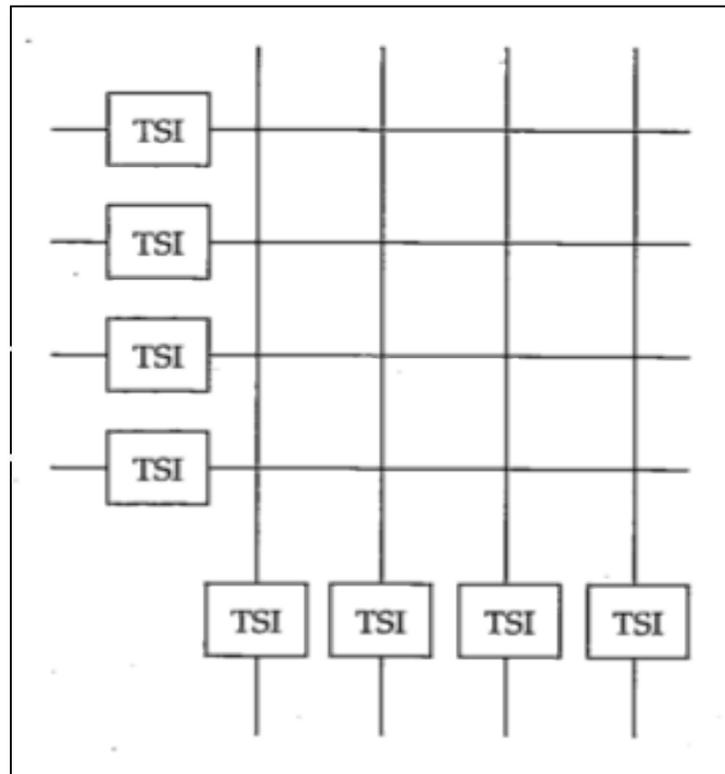
Time-Space (TS) Switch

- Entradas multiplexadas
 - Crossbar con un TSI previo a cada entrada
 - Retrasar las muestras para que lleguen en el momento adecuado para la conmutación espacial
- Ejemplo: Sin TSIs
 - Ejemplo: Con TSIs



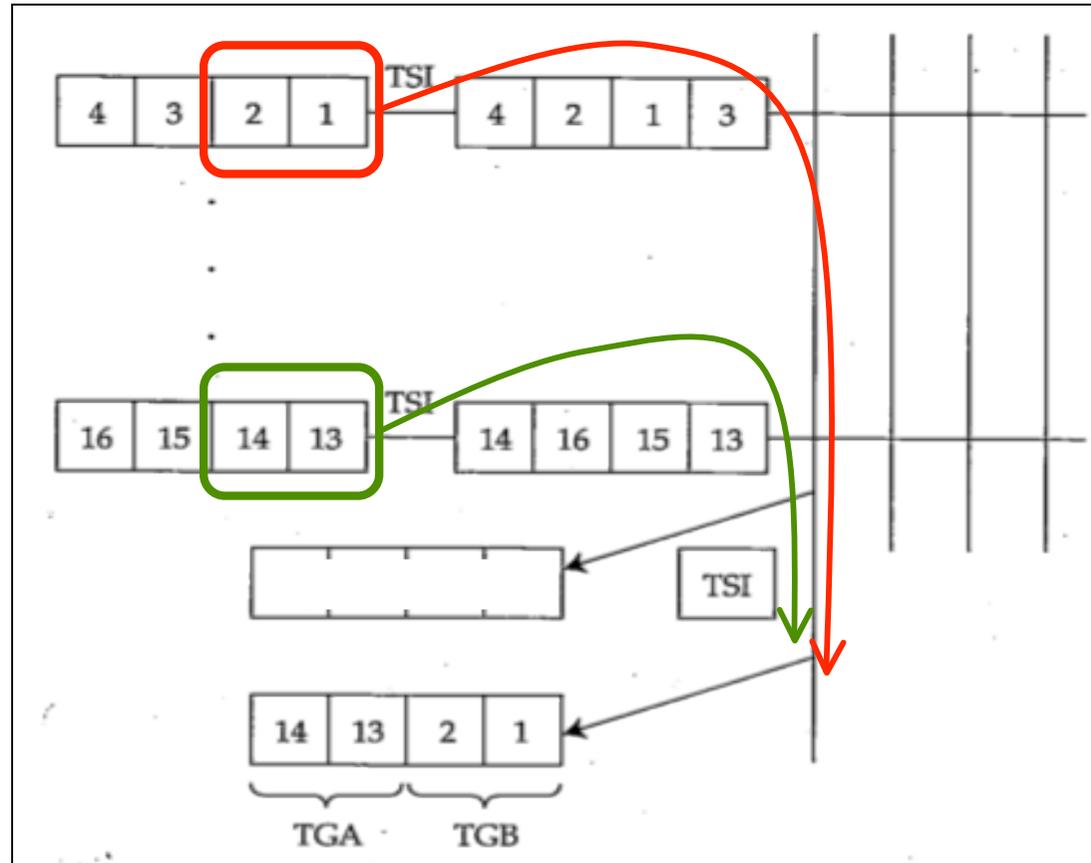
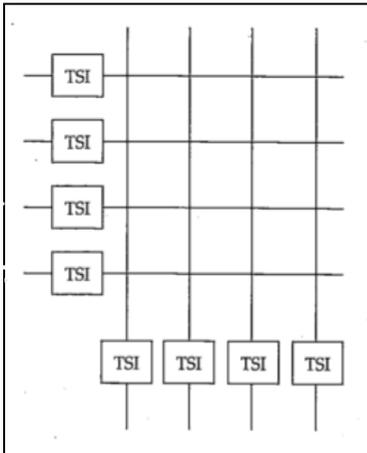
Time-Space-Time (TST) Switch

- Similar a un conmutador espacial de 3 etapas
- Las etapas de entrada y de salida son TSIs
- Reordenar en entrada para evitar bloqueo en crossbar
- Reordenar en salida para asignar a slot correcto
- Ejemplo:



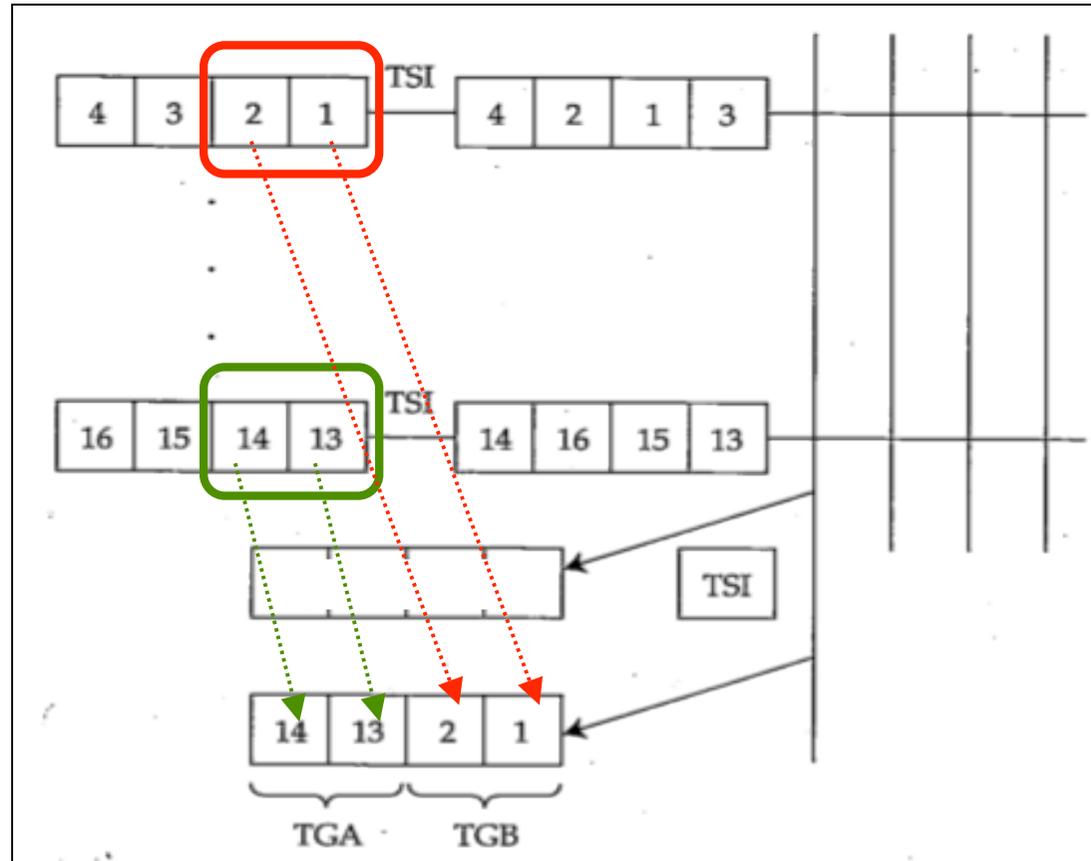
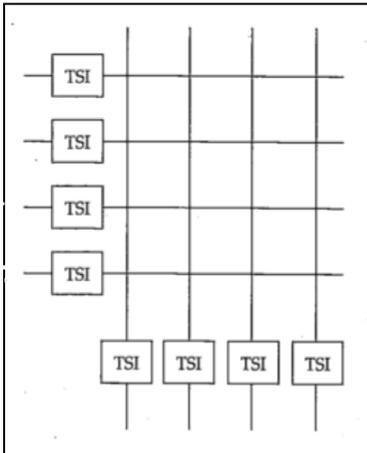
Time-Space-Time (TST) Switch

- Slots 1 y 2 de entrada 1 y slots 1 y 2 (valores 13 y 14) de entrada 4 van a la salida 1



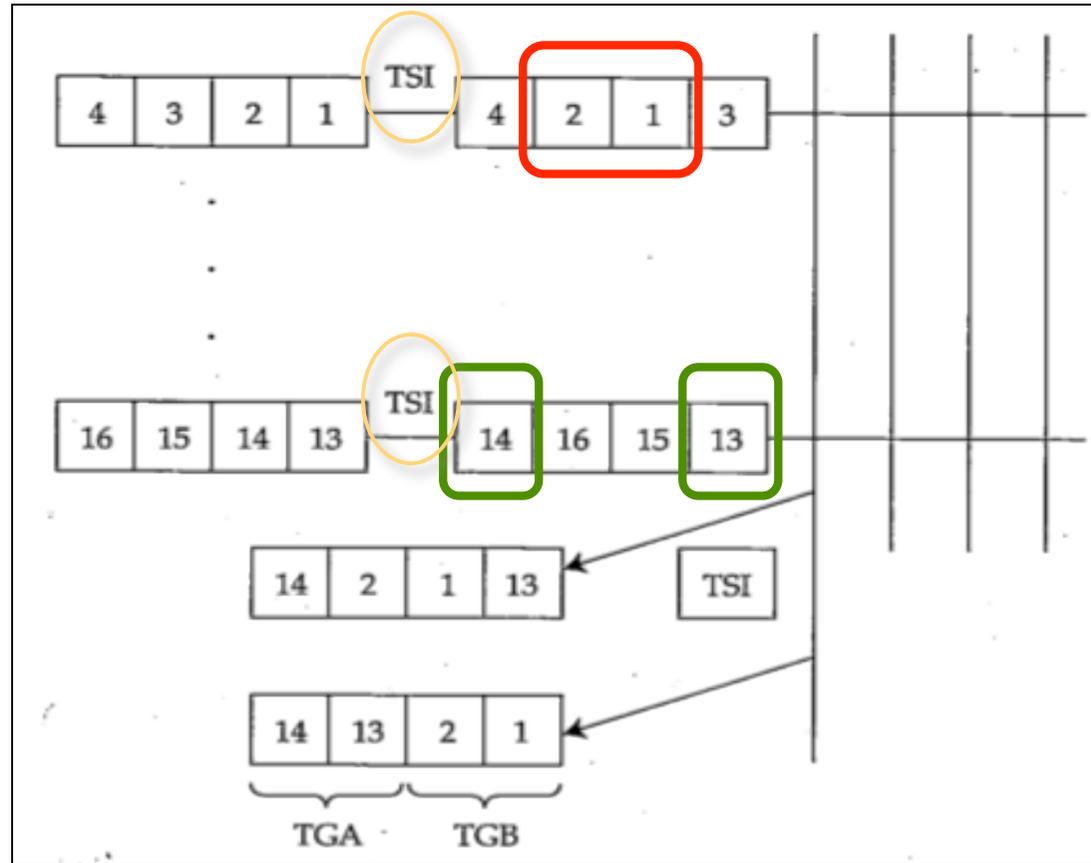
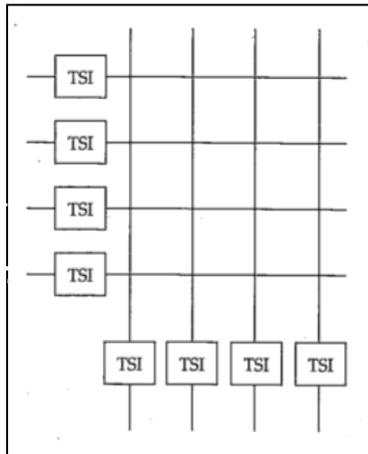
Time-Space-Time (TST) Switch

- Slots 1 y 2 de entrada 1 y slots 1 y 2 (valores 13 y 14) de entrada 4 van a la salida 1
- En la salida slot 1 de entrada 1 va a slot 4, slot 2 a slot 3
- En la salida slot 1 de entrada 4 va a slot 2 y slot 2 a slot 1



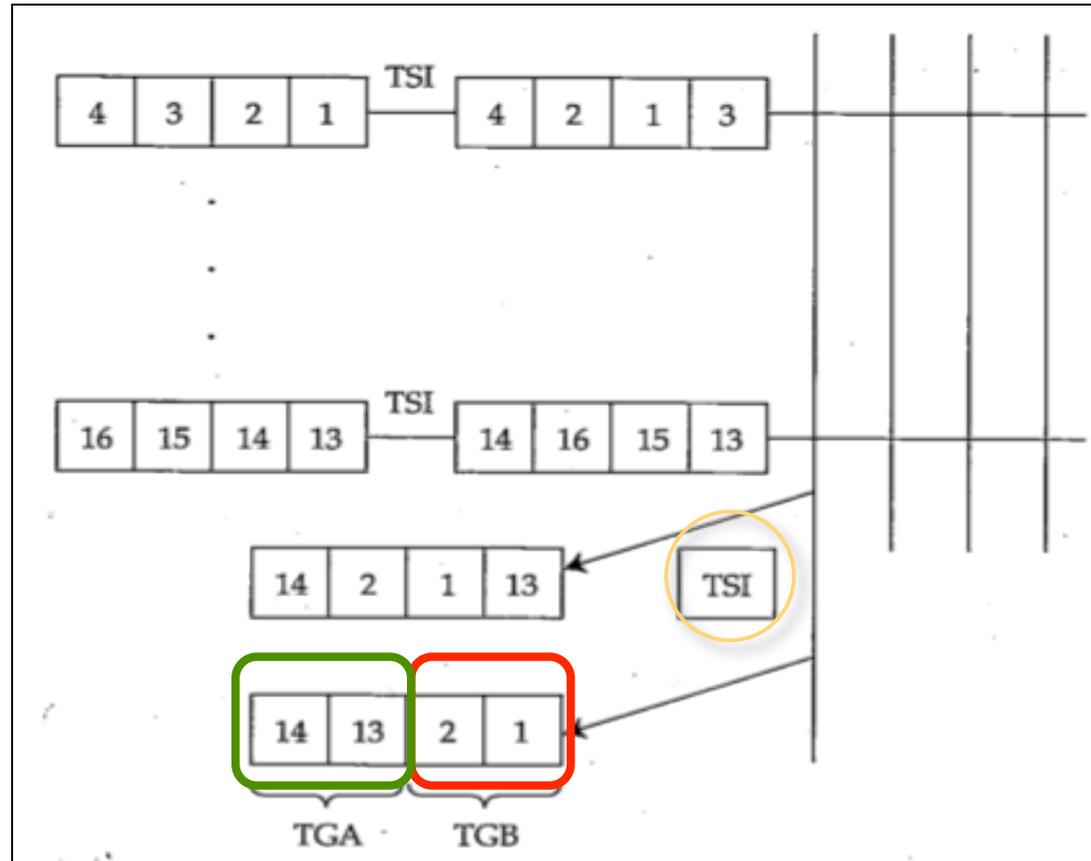
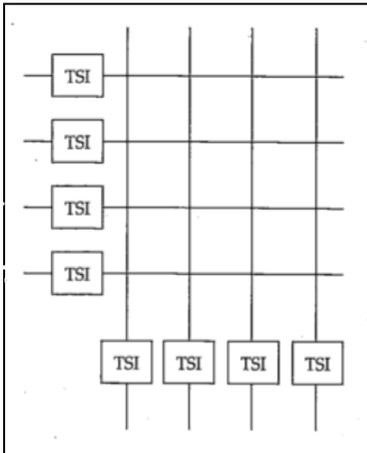
Time-Space-Time (TST) Switch

- TSIs en la entrada reordenan para que no haya bloqueo
- Pueden colocar los slots en la posición que quieran que no produzca bloqueo
- Mayor flexibilidad para usar el conmutador espacial y evitar bloqueo



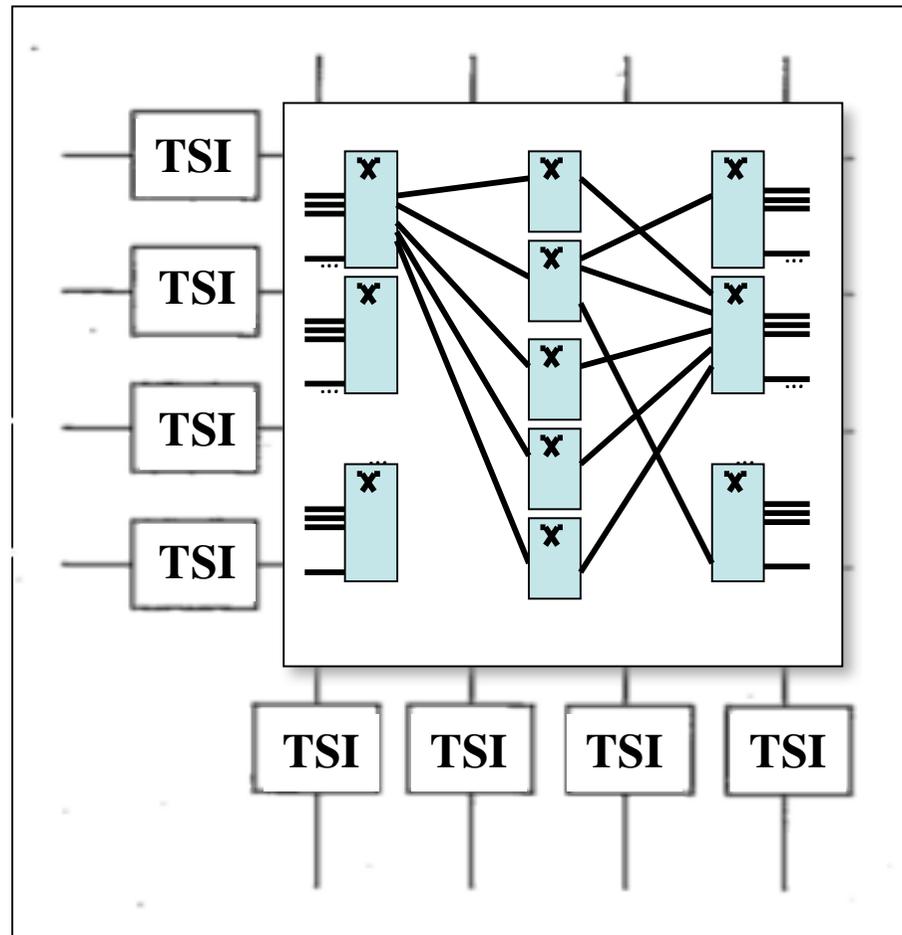
Time-Space-Time (TST) Switch

- TSIs en la entrada reordenan para que no haya bloqueo
- Pueden colocar los slots en la posición que quieran que no produzca bloqueo
- Mayor flexibilidad para usar el conmutador espacial y evitar bloqueo
- TSI en la salida reordena



Time-Space-Time (TST) Switch

- La etapa espacial puede sustituirse por un conmutador de 3 etapas \Rightarrow TSSST



Conclusiones

- Conmutación de circuitos
 - Establecer caminos *físicos* para conectar dos terminales
 - Señalización para control entre nodos y entre usuarios y nodos
- Conmutadores
 - Bloqueo
 - *Crossbar* y conmutadores multietapa
 - Redes sin bloqueo: condición de Clos
 - Conmutadores espaciales y temporales
 - S, T, TST

Próxima clase:

- Prestaciones