

## 1) Redes conmutadas

Cuando los datos hay que enviarlos a largas distancias (e incluso a no tan largas), generalmente deben pasar por varios nodos intermedios. Estos nodos son los encargados de encauzar los datos para que lleguen a su destino.

- En las redes de comunicación conmutadas, los datos que entran en la red proveniente de alguna de las estaciones, son conmutados de nodo en nodo hasta que llegan a su destino.
- A los nodos de conmutación no les incumben los datos, sólo se encargan de encaminarlos a su destino.
- Hay nodos sólo conectados a otros nodos y su única misión es conmutar los datos internamente a la red (p.ej. nodos 5 y 7 de la Ilustración 1). También hay nodos conectados a estaciones y a otros nodos, por lo que deben de añadir a su función como nodo, la aceptación y transmisión de datos de las estaciones que se conectan (p.ej. nodos 1, 2 y 3).
- Los enlaces entre nodos están multiplexados en el tiempo (TDM) o por división de frecuencias (FDM).
- Generalmente hay más de un camino entre dos estaciones, para así poder encaminar los datos por el camino más adecuado.
- Para redes de área amplia, generalmente se utilizan además de las técnicas de **conmutación de circuitos**, las de **conmutación de paquetes**.

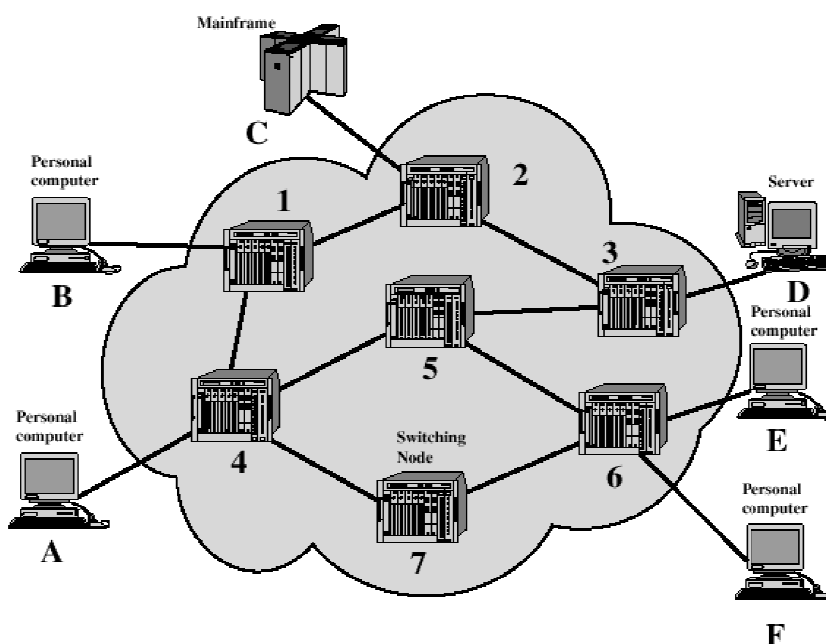


Ilustración 1: Esquema general de una red de conmutación.

## 2) Redes de conmutación de circuitos

### 2.1) Características generales:

- **Camino dedicado:** Para cada conexión entre dos estaciones, se debe tener un camino dedicado entre ellas mediante enlaces entre los nodos intermedios. En cada *enlace físico*, se dedica un *canal lógico* a dicha conexión.



- **Fases de la comunicación:** Para establecer la conexión y transmisión de la información entre estaciones a través de los nodos intermedios, se requieren tres etapas :
  - Establecimiento del circuito :

Antes de transmitir cualquier señal, se debe establecer un circuito extremo-extremo. En el ejemplo, la estación A envía una solicitud de asignación de un canal libre al nodo 4, (en éste caso, a través de un camino dedicado), indicando la dirección de la estación destino, por ejemplo la estación E. Este primer nodo es el encargado de gestionar un canal libre (en general multiplexado) hasta el próximo nodo intermedio. Se llega a la estación receptora después de sucesivos *saltos* (“hops”). Para la elección de los nodos, se tiene en cuenta ciertos criterios de encaminamiento, costo, etc.
  - Transferencia de datos :

Una vez establecido el circuito dedicado para esta conexión (cada nodo reserva un canal para esta comunicación, en general full-duplex), las estaciones extremas comienzan la transmisión de datos.
  - Desconexión del circuito :

Terminada la transferencia, el emisor o el receptor indican a su nodo más próximo que ha finalizado la conexión y liberan ese tramo del circuito, y este nodo informa al siguiente de este hecho y luego libera el canal dedicado y así sucesivamente hasta que todos han liberado el circuito.
- **Inteligencia de los nodos:** Cada nodo conmutador debe ser capaz de reservar los recursos necesarios y efectuar las conmutaciones adecuadas.
- **Eficiencia:** La conmutación de circuitos, intrínsecamente es bastante ineficiente, ya que los canales están reservados, aunque no circulen datos a través de ellos. (Para tráfico de voz, puede ser un método bastante eficaz ya que la utilización del canal es alta. En transmisión de datos, el canal está la mayor parte del tiempo desaprovechado).
- **Retardos:** El único retardo es el establecimiento de la conexión, ya que luego no hay retardos en los nodos (al estar ya establecido el canal, no tienen que procesar ninguna información de encaminamiento).
- **Transparencia de datos:** la velocidad de transmisión de los datos es constante (apto para transmisión de voz y video) y el usuario percibe que es el único usuario de una conexión punto a punto.
- **Aplicaciones:**
  - Transmisión de voz a través de la red de telefonía. (también datos vía MODEM).
  - Centrales privadas (PBX-“Private Branch Exchange”)
  - Redes privadas en una o varias dependencias, interconectadas por medio de varias PBXs., mediante líneas dedicadas alquiladas.
  - Conmutación de datos entre dispositivos de procesamiento de datos digitales (computadores o terminales).
- **Ejemplo de red de conmutación de circuitos:** La red conmutada pública de telefonía.(PSTN-“Public Switching Telephone Network”). Su arquitectura es la siguiente :
  - Abonados : son las estaciones de la red (voz y datos).
  - Bucle o lazo local: es la conexión del abonado a la red. Esta conexión, como es de corta distancia, se suele hacer con un par trenzado.
  - Centrales: son aquellos nodos a los que se conectan los abonados (centrales finales) o nodos intermedios entre nodo y nodo (centrales intermedias).
  - Líneas principales: son las líneas que conectan nodo a nodo. Suelen usar multiplexación por división en frecuencias o por división en el tiempo.

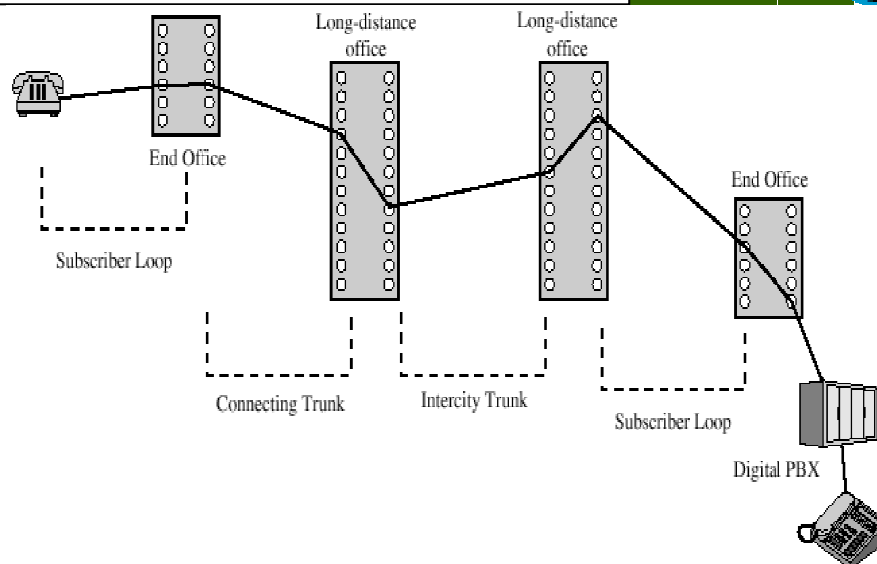


Ilustración 2: Esquema general de una red telefónica por conmutación de circuitos

- **Cobertura:** La conmutación de circuitos, a pesar de sus deficiencias es el sistema más utilizado para conectar sistemas informáticos entre sí a largas distancias, debido a la cobertura de interconexión global de la red telefónica.

## 2.2) Estructura básica de un nodo de conmutación de circuitos

Cada nodo de conmutación de circuitos consta de:

**Un conmutador digital:** (“digital switch”) circuitos basados en micro-procesadores y compuertas lógicas, con la función de establecer conexiones full-duplex y transparentes entre cada par de dispositivos que se quieren conectar. Es el bloque principal del conmutador.

**Interfaz de red:** (“network interface”) incluye las funciones y hardware para conectar los dispositivos digitales (y analógicos, previamente digitalizados) a la red.

**Unidad de control:** (“control unit”) establece gestiona y deshace las conexiones conforme se le requieran al sistema.

Una característica importante de los conmutadores de circuitos es si son **bloqueadores** o **no bloqueadores**

(Bloqueo: situación que se da cuando la red es incapaz de conectar dos estaciones, debido a que todos los posibles caminos entre ellas están siendo ya utilizados)

Redes bloqueantes: red en la que es posible el bloqueo.

Redes no bloqueantes: aquellas redes que mientras el destino esté libre, siempre brindan un camino para la conexión entre pares de dispositivos.

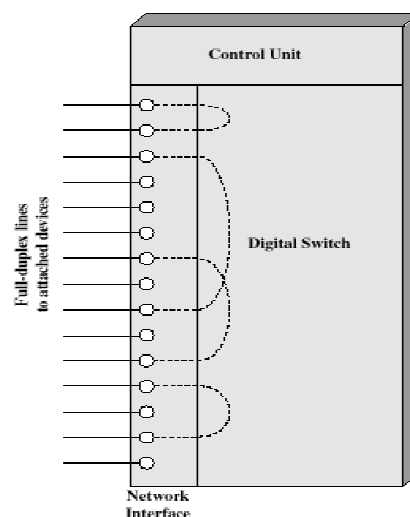


Ilustración 3: nodo de conmutación de circuitos básico.

### 2.2.1). Conmutación por división en el espacio

Son conmutadores en los que las conexiones entre líneas de entrada y salida son conexiones físicamente independientes unas de otras (“división en el espacio”)

- **Conmutadores de una sola etapa:** Entre dos puntos finales, el conmutador establece una ruta exclusiva y dedicada, mediante una estructura matricial en la que las compuertas lógicas de los puntos de cruce, se habilitan o deshabilitan para proporcionar el enlace full-duplex.

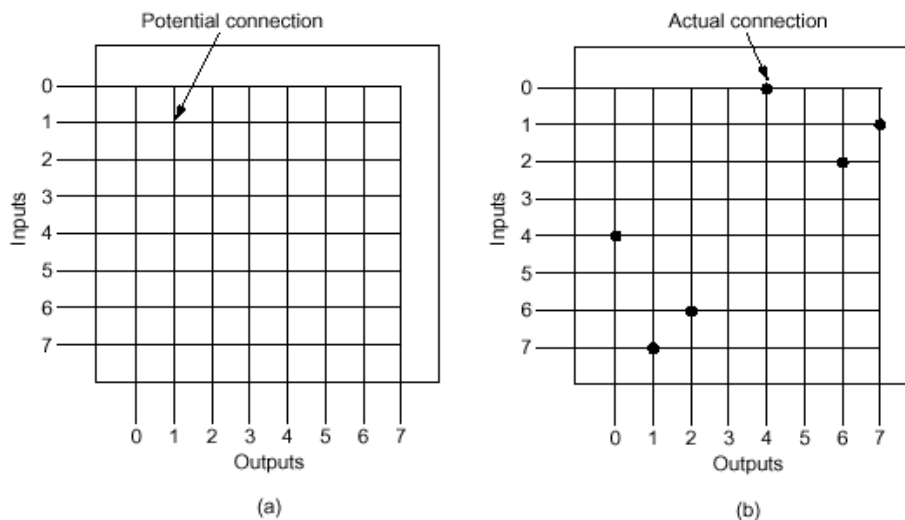


Ilustración 4: Conmutadores por división en el espacio (a) Sin conexiones establecidas (b) Con tres conexiones: 0 con 4, 1 con 7 y 2 con 6

Limitaciones principales:

- **Costo:** Al crecer el número de líneas de conexión, deben crecer con el cuadrado la cantidad de puntos de cruce. (Costoso en conmutadores grandes)
- **Confiabilidad:** La pérdida de un punto de cruce, interrumpe la posibilidad de conexión entre dos líneas.
- **Eficiencia:** Hay baja utilización de los puntos de cruce, aún con todos los dispositivos activos. Por lo que es muy ineficiente.
- **Conmutadores con múltiples etapas:** solucionan algunos de los inconvenientes anteriores (en la figura, se ejemplifican dos conmutadores de tres etapas, con distintos parámetros):
  - Se reduce el número de puntos de cruce.
  - Hay más de un camino posible entre una línea de entrada y una salida.
  - Estos sistemas deben de ser bloqueantes.

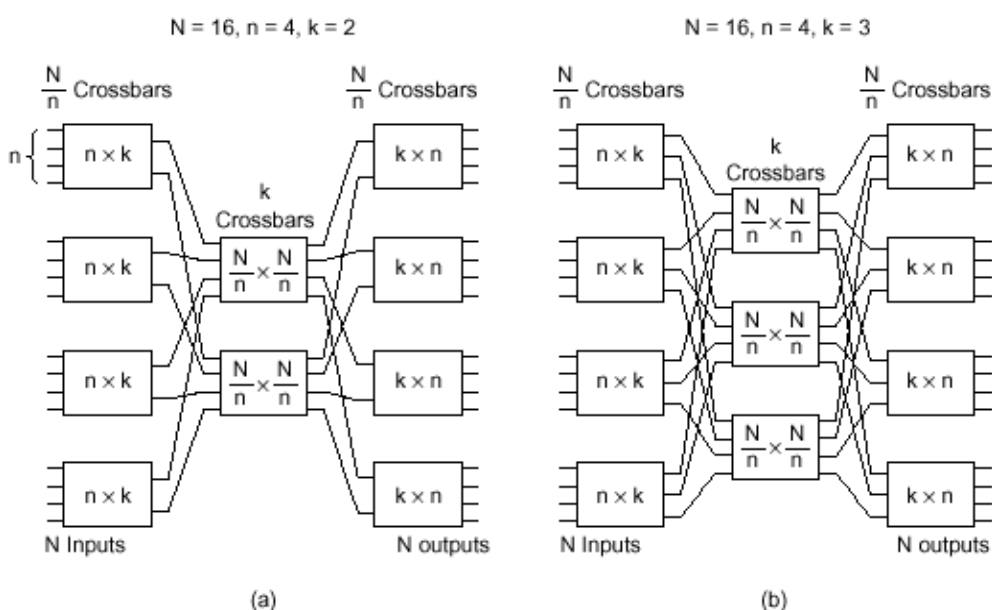


Ilustración 5: Dos conmutadores por división en el espacio, de tres etapas, con diferentes parámetros

En un conmutador por división en el espacio, de una sola etapa, y de 16 x 16 líneas, el número de puntos de cruce requeridos sería de  $16^2=256$ .

En el ejemplo de la Ilustración 5 (a), el mismo conmutador se implementó en tres etapas con 96 cruces, mientras que en el (b) la reducción alcanzó a 144.

Analizar que en el (a), son posibles 8 comunicaciones simultáneas como máximo, mientras en el (b) se consiguen 12.

## 2.2.2) Conmutación por división en el tiempo

- Todos los conmutadores modernos se basan en ésta técnica para establecer y mantener sus circuitos.
- Las señales de entrada al conmutador son señales digitales (o analógicas digitalizadas)
- Las señales de entrada (son de menor velocidad que la de salida), se multiplexan sobre un único bus de salida, formando una trama TDM de mayor velocidad.
- En TDM síncrona, se conocen la fuente y destino de cada ranura (“time slot”), por lo que no se necesitan bits de dirección.
- Durante cada ranura, la unidad de control habilita la compuerta de la línea de entrada adecuada, para que la ráfaga de datos pase al bus digital de alta velocidad.
- Simultáneamente, durante esa ranura se habilita la línea de salida que corresponda. (Parejas E/S).
- La operación full-duplex se consigue transmitiendo en una ranura y recibiendo en la siguiente.
- El dispositivo receptor en el otro extremo funciona en forma exactamente inversa.
- El conmutador TDM sincrónico, en resumen, se caracteriza por:
  - ❑ Time slots previamente asignados, transmitan o no (ineficiencia del canal).
  - ❑ No se necesitan direcciones (relación E/S)
  - ❑ Son conmutadores no bloqueantes.
  - ❑ La capacidad del bus debe ser mayor que la suma de las razones de datos de los canales.
  - ❑ Admite líneas con diferentes razones de datos (se asigna más de un time slot)
- Los conmutadores basados en TDM estadístico se caracterizan por:
  - ❑ Time slots asignados bajo demanda, cuando se necesita transmitir (alta eficiencia).
  - ❑ Se pierde la relación E/S, que obliga a agregar bits de dirección en la trama.
  - ❑ Son conmutadores bloqueantes.
  - ❑ La capacidad del bus es menor que la suma de las potenciales razones de datos de todas las líneas conectadas.
  - ❑ Admite líneas con diferentes razones de datos (se asigna más de un “time slot”).

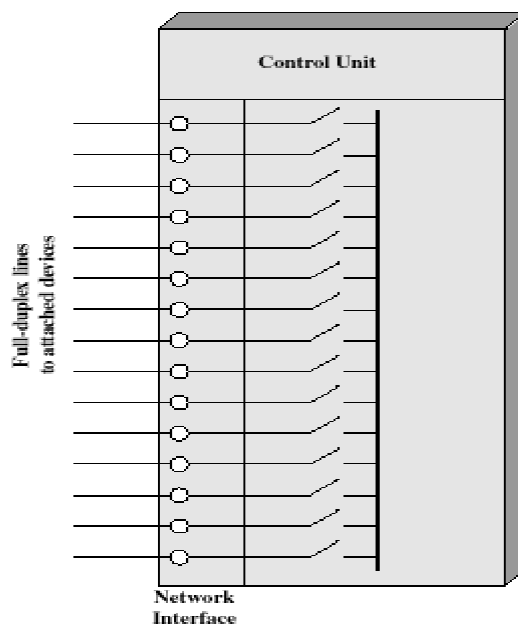


Ilustración 6: Diagrama de un nodo de conmutación, por división en el tiempo

## 2.3) Encaminamiento en redes de conmutación de circuitos.

- Características críticas de diseño:
  - Eficiencia: la red debe poder manejar el tráfico promedio en horas pico, todo ello con el menor requerimiento de equipamiento. (factor de costo).
  - Flexibilidad: nivel de servicio básico aún en las peores condiciones de carga. Rutas redundantes.
- Tipos de encaminamiento:
  - Estático: las rutas entre los dispositivos finales son fijas, sin posibilidades de cambios en función de las características del tráfico en la red.

- Dinámico: las rutas entre los dispositivos finales son variables, cambiando de acuerdo a características del tráfico en la red.

## 2.3.a) Encaminamiento estático:

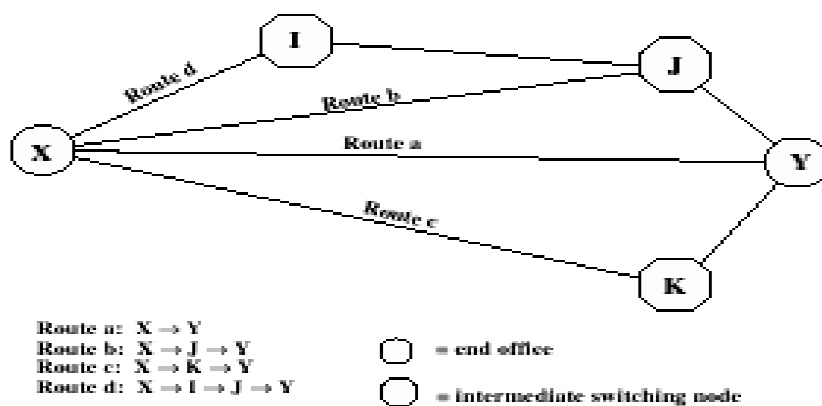
- Es el más antiguo, sencillo y económico.
- Los nodos de la red se organizan jerárquicamente, con rutas fijas.
- Pueden haber algunas rutas alternativas redundantes para aliviar el tráfico entre centrales muy importantes de igual jerarquía (enlaces troncales).
- Poca capacidad de adaptación ante condiciones cambiantes de tráfico (baja flexibilidad), lo que obliga a dimensionar la red para condiciones muy adversas (riesgo de sobredimensionar la red, o sea baja eficiencia).
- Si un nodo falla o se congestiona, la congestión en la red se propaga desde allí a los nodos dependientes (baja confiabilidad).

## 2.3.b). Encaminamiento dinámico fijo:

- El nodo del dispositivo transmisor elige en una tabla la primera ruta hacia el dispositivo destino, entre una secuencia fija de varias rutas preestablecidas. Si ese camino no está disponible, busca el siguiente en prioridad de la tabla.
- Las rutas establecidas en las tablas de los nodos, las establece el administrador de la red, sobre la base de análisis de modelos de simulación de tráfico.
- Más eficiente y flexible que el encaminamiento estático, pero a costa de mayor complejidad y costo.

## 2.3.c) Encaminamiento dinámico alternativo:

- La ruta elegida de la tabla del nodo se elige tanto sobre la base del estado actual del tráfico (se descarta una ruta ocupada) como también sobre la base de estudios de modelos de tráfico (que determinan la ruta a utilizar según los distintos períodos de un día o semana).
- Mayor complejidad y costo.
- Mayor eficiencia y flexibilidad.



(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

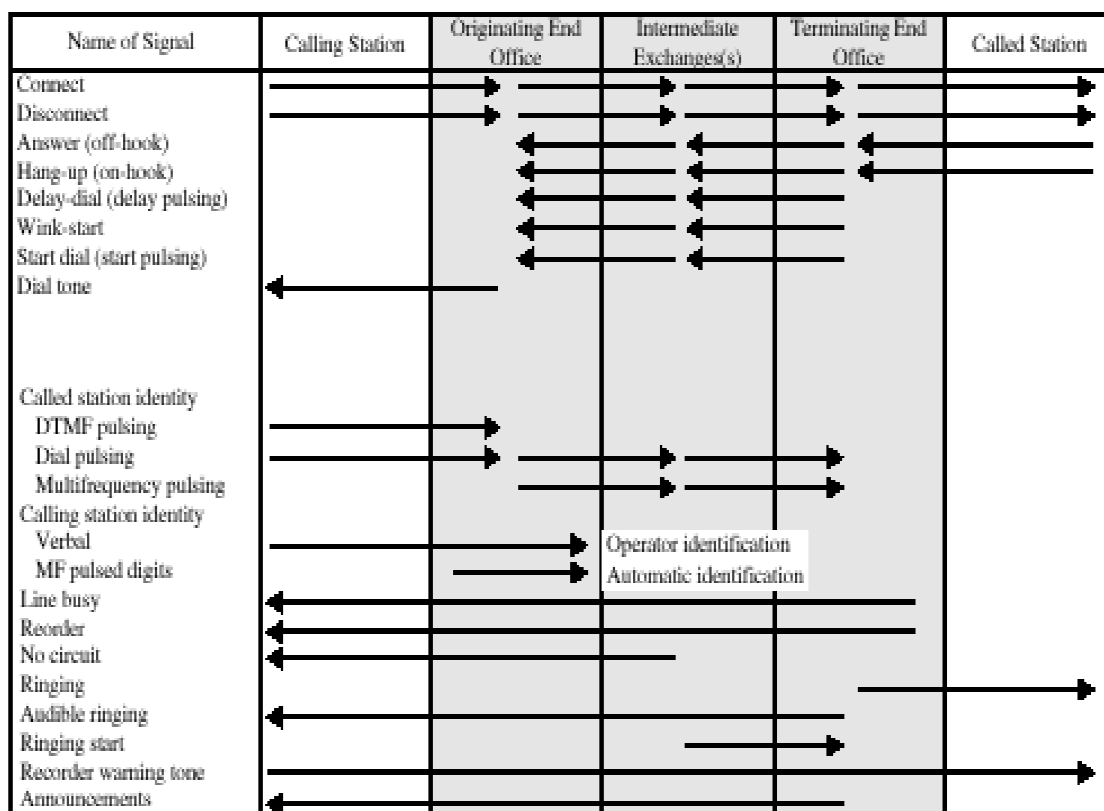
Ilustración 7: Ejemplo de topología y tablas de encaminamiento en ruteo dinámico alternativo.

## 2.3.d) Encaminamiento dinámico adaptable:

- Los conmutadores reaccionan a las condiciones cambiantes del tráfico en la red.
- Cada nodo de la red tiene una ruta por defecto hacia otro, que es la primera que se intenta. En caso de estar el enlace por defecto bloqueado o fuera de servicio, intenta la ruta que le suministra un nodo central de la red.
- Un conmutador central recibe cada 10 seg. información de cada uno de los nodos de la red sobre el tráfico que el mismo está recibiendo, calculando sobre la base de varios parámetros de tráfico y un determinado algoritmo de encaminamiento, todas las rutas alternativas para cada uno de los nodos de la red. El nodo central transmite esa ruta alternativa en forma periódica a cada conmutador.
- Es el esquema más sofisticado y costoso.

## 2.4) Señalización de control:

- Las señales de control son el medio mediante el cual se gestiona la red, estableciendo, manteniendo y terminando las llamadas.
- Las señales de control gestionan el intercambio de información entre:
  - El abonado y los conmutadores.
  - Entre los conmutadores entre sí.
  - Entre los conmutadores y el centro de gestión de la red.
- Las señales de control abarcan procedimientos visibles por el abonado, como también procedimientos internos de la red.
- Algunas de las principales señales de control se especifican en la siguiente figura:



Note: A broken line indicates repetition of a signal at each office, whereas a solid line indicates direct transmittal through intermediate offices.

**Ilustración 8: Algunas de las principales señales de control en una red conmutada.**

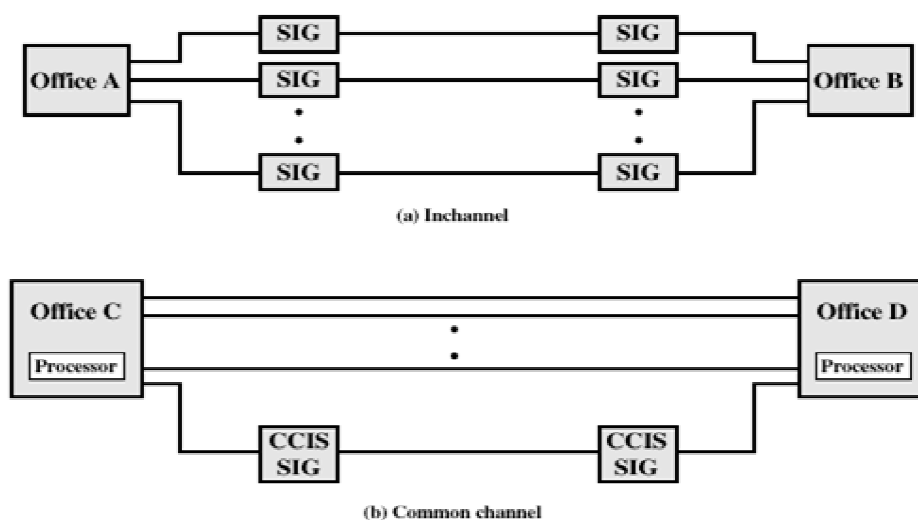
- De acuerdo a su función, las señales de control se pueden clasificar en:



- a) *Señales de supervisión:* solicitud de un servicio, respuestas, alertas y retorno a desocupado. Estas señales se encargan de informar sobre la disponibilidad del abonado destino y de los recursos necesarios en la red, y en caso de que esos recursos estén disponibles, reservarlos.
  - b) *Señales de direccionamiento:* la señal de dirección se genera por el abonado que marca el número de teléfono, que se propaga por la red y produce que suene el teléfono destino.
  - c) *Señales de información sobre la llamada:* tonos audibles por parte del abonado que efectúa una llamada, que recibe así información sobre el estado de la misma.
  - d) *Señales de gestión de red:* se utilizan una vez establecida la llamada, para el mantenimiento, detección de problemas y funcionamiento general de la red. Es el grupo que más se ha incrementado al hacerse las redes cada vez más sofisticadas.
- De acuerdo a su localización, se pueden clasificar en:
    - a) *Señalización intracanal:* la señalización de control de la red de conmutación se efectúa a través de la propia línea principal, o sea que la misma línea lleva el mensaje de usuario y las señales de control. La llamada y las señales de control comparten recursos, sobre una misma ruta física (no requiere recursos adicionales). La señalización intracanal admite dos variantes:
      - *Intrabanda:* las señales de control comparten la ruta física con el mensaje, y además la misma banda de frecuencias. Se asegura así que si la señal de control llega a destino, también lo hará el mensaje y viceversa.
      - *Fuera de banda:* se mandan las señales de control en una banda muy estrecha dentro del canal de 4 KHz. que nunca es completamente utilizado por el mensaje de voz. Se consigue un control continuado del mensaje mientras éste dure, pero con circuitos más complejos y lentos.

La señalización intracanal ha quedado obsoleta para las redes digitales actuales, fundamentalmente debido a que el ancho de banda disponible es muy reducido (lo que se traduce en que las señales de control se propagan muy lentamente por la red) como también por el hecho de que al ser las redes cada vez más sofisticadas, requieren mayor cantidad y poderío de señales de control.

- b) *Señalización por canal común:* las señales de control de un grupo de abonados, se transmiten físicamente por una ruta completamente independiente a los canales de voz de esos abonados. (canal común)



CCIS SIG: Common-channel interoffice signaling equipment  
SIG: Per-trunk signaling equipment

**Ilustración 9: Señalización Intracanal y por Canal Común**



El canal común se configurara como otra red paralela a la red de voz. Se puede contar con un ancho de banda adecuado para muchas y sofisticadas funciones de control para las modernas redes digitales. Hay dos variantes de canal común:

- ❑ Modo asociado: el canal común sigue los pasos a lo largo de toda la línea a los grupos a los que sirve entre los dispositivos finales.
- ❑ Modo no asociado: es más poderoso, pero complejo. No hay una asignación sencilla entre ambas redes, que se comunican a través de nodos adicionales llamados *puntos de transferencia de señal*.

Ventajas de la señalización de canal común respecto la intracanal:

- La gestión de la red principal se hace de un modo más sencillo y flexible.
- Al no estar asociadas las señales de control y de voz, es casi imposible interferir la llamada.
- Tiempo de establecimiento de la llamada notablemente inferior.
- Se pueden establecer múltiples puntos de control, para establecer una gestión más globalizada del tráfico de la red.

Desventajas de la señalización de canal común respecto la intracanal:

- Implementación más compleja (aunque los costos de hardware bajan constantemente).

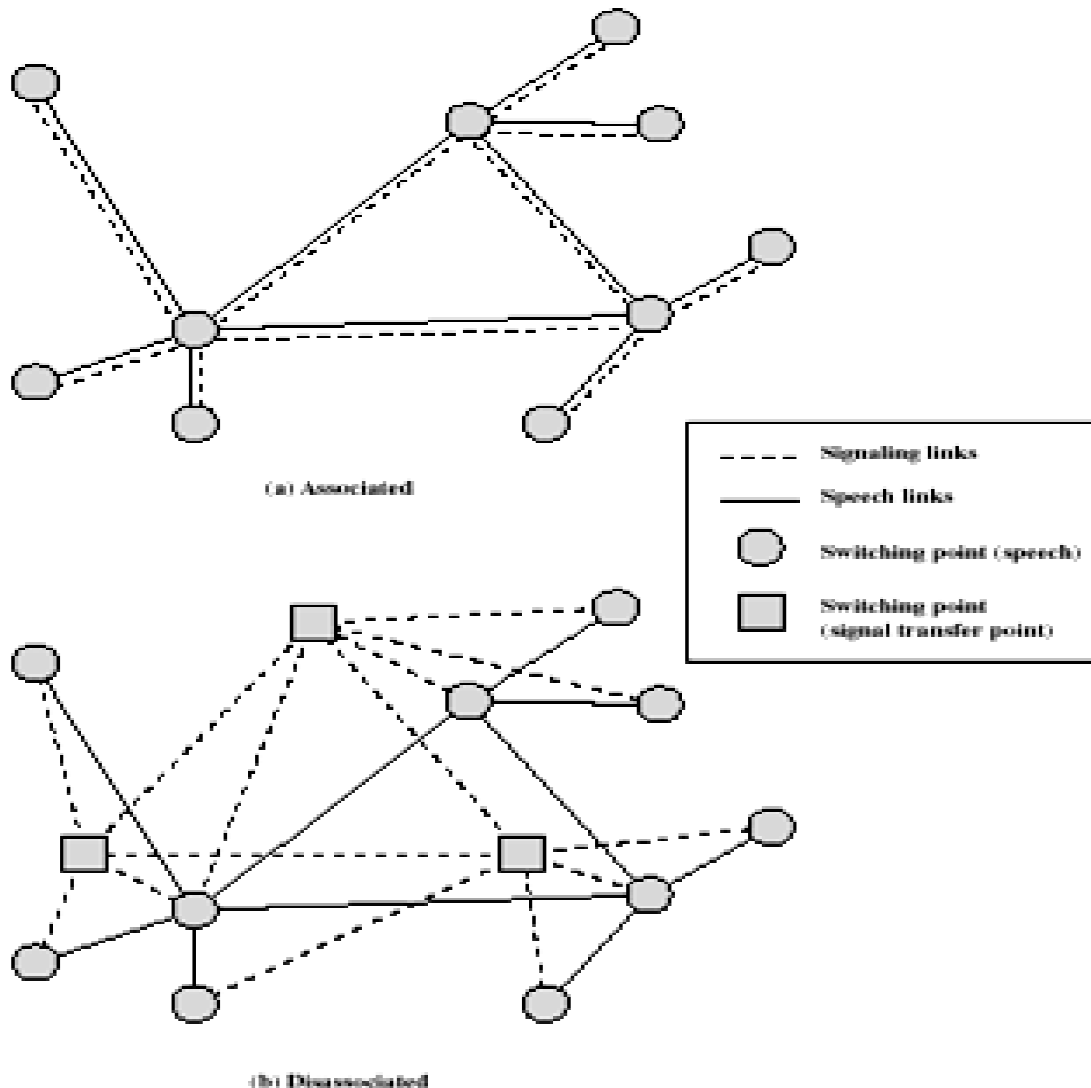


Ilustración 10: Modos de señalización intracanal: asociado y no asociado.