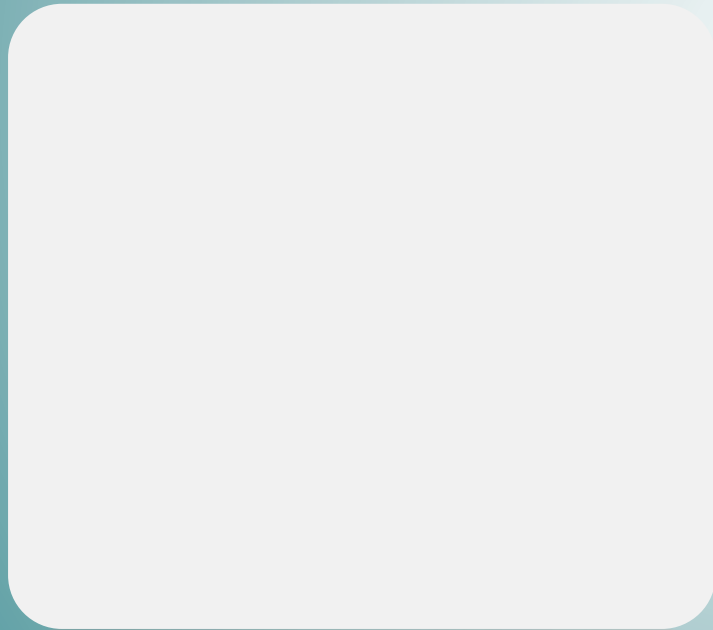


Redes de Comunicaciones

Tema 1. Introducción



Ramón Agüero Calvo
Alberto Eloy García

Luis Muñoz Gutiérrez (contribución)

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

Contenidos

- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación

Contenidos

- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación

¿Qué son las telecomunicaciones?

- Conjunto de mecanismos para transportar **información**
- Relevancia de la información
 - Fundamental en las actividades humanas
 - Diferentes formas: palabras, documentos (textos), datos de computadores, etc
 - La información se procesa, se almacena y se transporta
- Las telecomunicaciones proporcionan un medio de transporte para la información
 - La información se transforma en señales eléctricas, transmitidas por un medio
- Comunicaciones eléctricas → TELECOMUNICACIONES
 - Telégrafo: Cooke & Wheatstone, Davy (UK) y Morse (USA) en 1837
 - Teléfono: Bell en 1876 **[Meucci, 1854]**
 - Aparición de nuevos servicios: fax, telefonía móvil, datos,...
 - En la actualidad alrededor de 1200 M de líneas telefónicas fijas^(*) y aproximadamente 7000 M de teléfonos móviles^(**)
 - Hay 3000 M de usuarios de Internet (el 44% de los hogares tienen acceso)^(**)

¿Qué realizan las telecomunicaciones?

- Transportar la información
 - *Unicast* (uno a uno) → Telefonía
 - *Broadcast* (difusión, uno a varios) → Televisión, Radio
- Reenvío de la información entre sistemas
- Gestión del transporte de la información
 - Monitorización, mantenimiento, facturación,...
- Comunicaciones de valor añadido
- Información de valor añadido

¿Quiénes son los actores?

- Usuarios finales o clientes
 - Residenciales, PYMES, grandes empresas
- Proveedores de servicios (valor añadido) → Liberación
- Operadores tradicionales → Competencia creciente
- Fabricantes de equipos de telecomunicación
- Productores de componentes electrónicos
- Reguladores
- Inversores

Las redes de telecomunicación

- ¿Qué es una red de telecomunicación?
 - Conjunto de **enlaces de transmisión**, que unen diferentes lugares, conocidos como **nodos de la red**
- Componentes de las redes de telecomunicación
 - Sistema de transmisión
 - Sistema de conmutación
 - Sistema de señalización
- Servicios de las redes de telecomunicación
 - Teleservicios Vs. Servicios portadores
 - Básicos Vs. Suplementarios

Organismos de estandarización

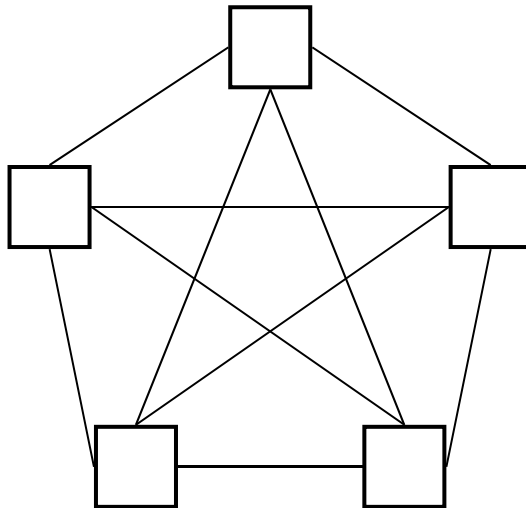
- ITU (International Telecommunication Union) – www.itu.int
 - ITU-T: ITU, sector de telecomunicaciones
 - ITU-R: ITU, sector de radiocomunicaciones
- ISO: International Standards Organization – www.iso.org
- ETSI: European Telecommunications Standard Institute – www.etsi.org
- ANSI: American National Standards Institute – www.ansi.org
- IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers – www.ieee.org
- IETF: Internet Engineering Task Force – www.ietf.org
- 3GPP: 3rd Generation Partnership Project – www.3gpp.org
- Recientemente han cobrado gran relevancia las asociaciones/alianzas de fabricantes/operadores, especialmente para tecnologías inalámbricas
 - WiFi (www.wi-fi.org)
 - WiMax (www.wimaxforum.com)

Contenidos

- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación

Topologías de red

- Red → Permite la interconexión de un grupo de nodos
- Solución directa
 - 1 circuito o enlace (recurso) entre cada par de nodos



▪ Red mallada

- Para N nodos, el número de enlaces (E), será:

$$E = \frac{N(N-1)}{2}$$

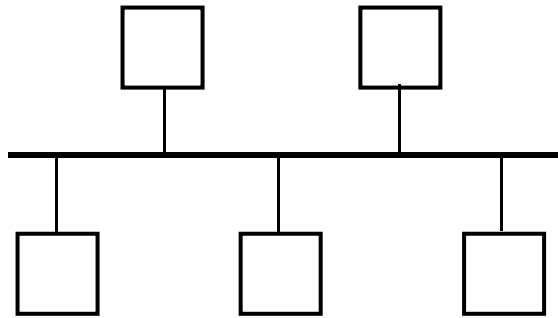
- Para N alto → crecimiento exponencial

$$N \uparrow \quad E \propto N^2$$

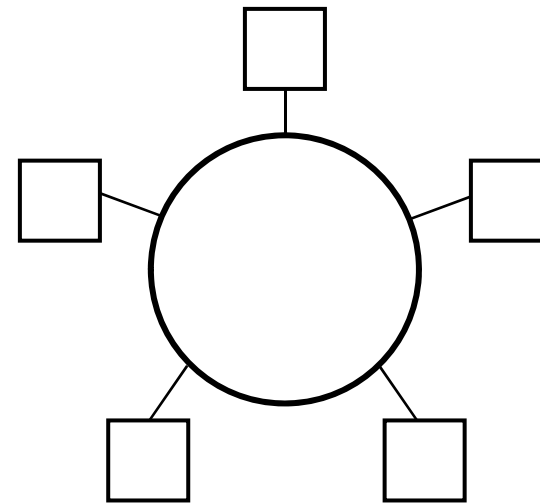
- Poco económico
- Sólo viable con redes pequeñas

Topologías de red

- Alternativas de conexión
 - Redes en bus o anillo, en las que se comparte el medio



Red en Bus



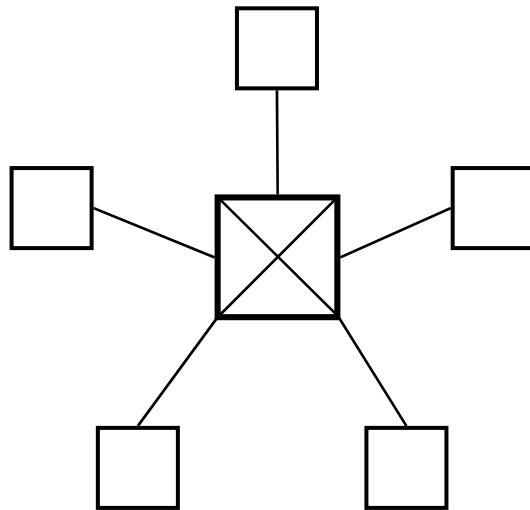
Red en Anillo

- No son aptos para telefonía → Comunicaciones simultáneas
- Transmisión de datos en redes de área local

Topologías de red

▪ Red Telefónica

- Requerimiento → Comunicaciones simultáneas y continuas entre dos nodos cualesquiera
- Solución → Conexión entre cada punto con una central de conmutación

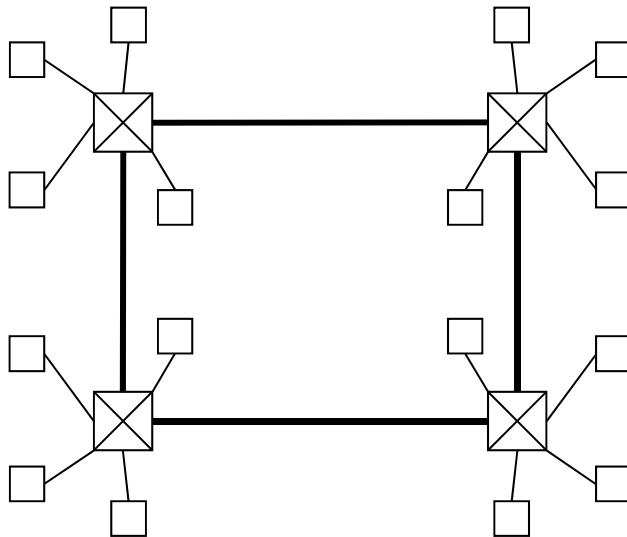


▪ Red en Estrella

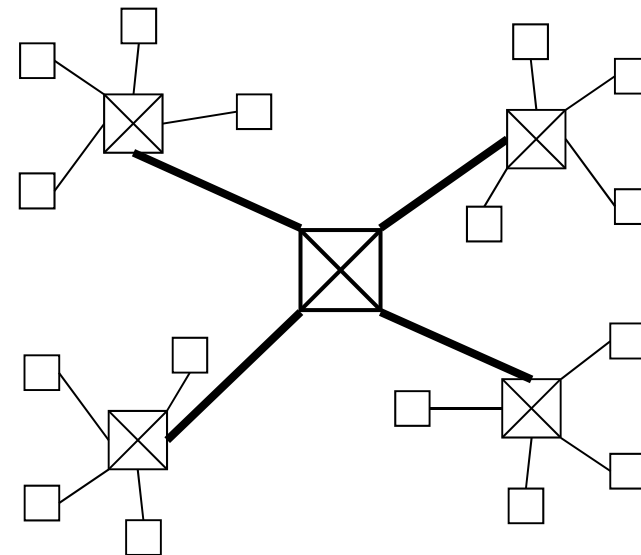
- $E = N \rightarrow$ Crecimiento lineal
- Central cara, pero solución rentable, al disminuir el # de líneas
- Solución escalable

Estructura de la red telefónica

- El coste de la red crece con la superficie
 - División de la red en subredes más pequeñas
 - Cada subred tiene su propia central
 - Conexión entre centrales



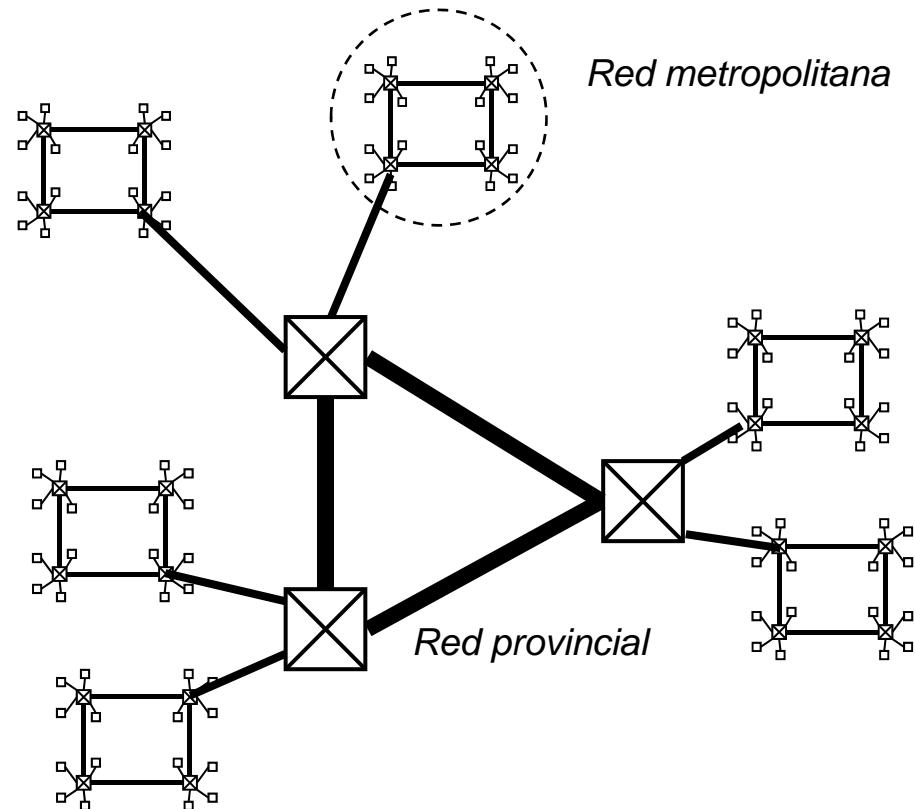
Conexión directa



*Conexión mediante **Central Tandem***

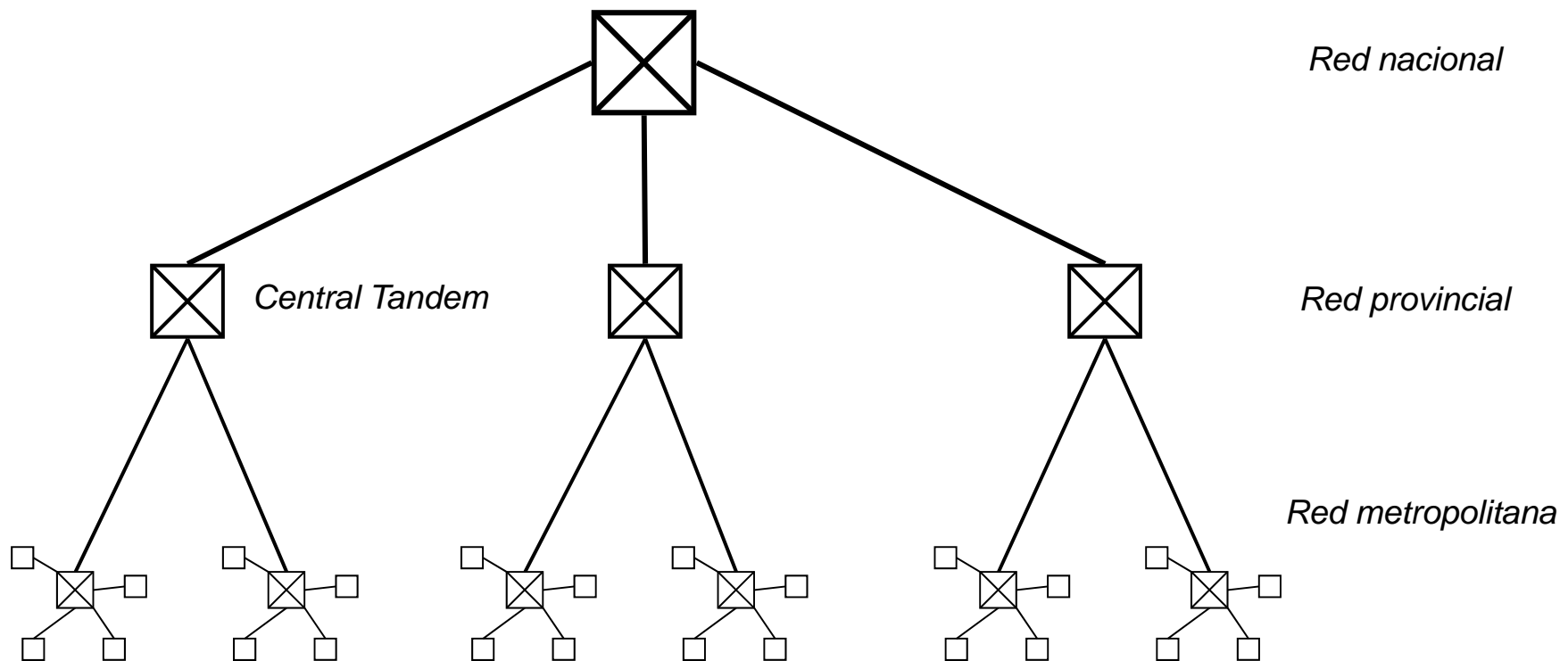
Estructura de la red telefónica

- Extensión geográfica → Establecimiento de una jerarquía en la red



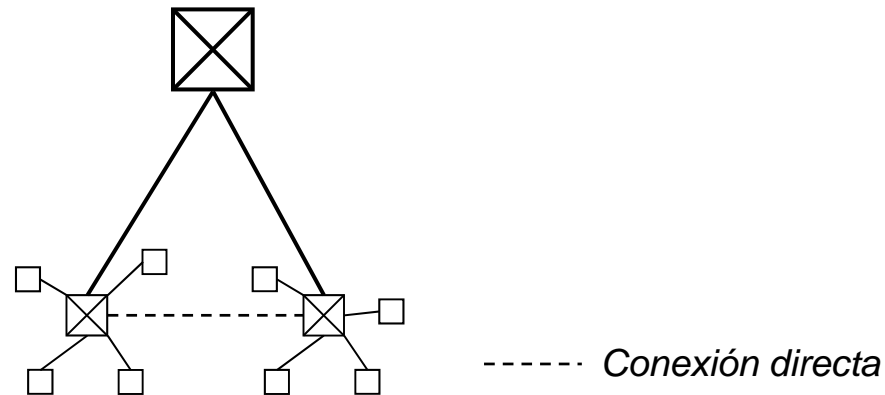
Estructura de la red telefónica

- Representación jerárquica de la red en estrella



Estructura de la red telefónica

- Conexión entre centrales
 - A través de una central de nivel superior (conexión a través de Central Tandem), *topología en estrella*
 - Directa, si las distancias son cortas, *red mallada*
- Solución mixta
 - Razones económicas → mucha actividad entre dos centrales
 - Establecer conexiones directas entre dos centrales concretas
 - Se mantiene la conexión a través de la tandem



Estructura de la red telefónica

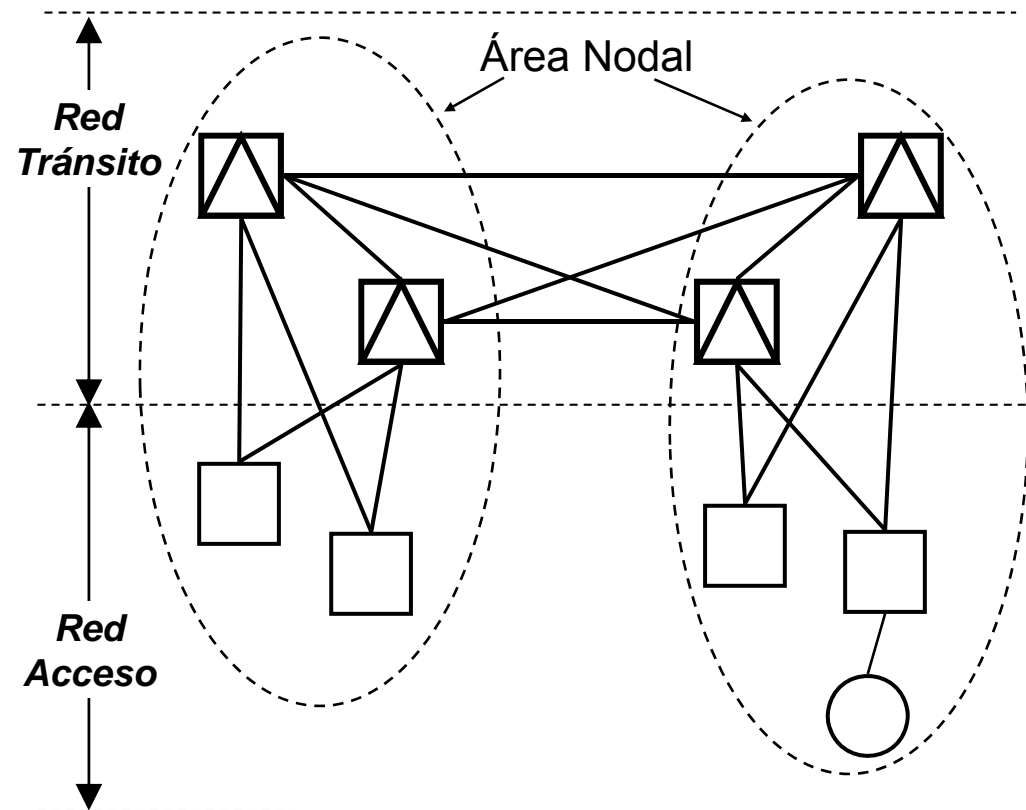
- Ruta y sección final
 - Enlaces entre las centrales que forman la estructura jerárquica de la red
 - La unión de las diferentes secciones finales conforma la ruta final
 - Dos abonados siempre pueden conectarse a través de la ruta final
 - No siempre supone la alternativa más económica
- Red complementaria
 - Enlaces directos entre centrales del mismo nivel → Configuración mallada
 - Cuando hay mucha actividad entre dos puntos
 - Se usan menos enlaces intermedios
 - Se “libera” actividad en los niveles de jerarquía superior
 - Aumento de la fiabilidad → Rutas alternativas, redundancia
- El encaminamiento favorece habitualmente las rutas directas

Evolución hacia la red digital

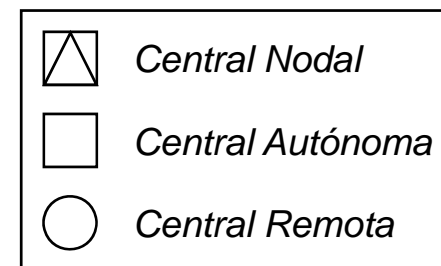
- Ventajas claras de la tecnología digital
- Digitalización de la red de tránsito nacional
 - Desaparecen niveles jerárquicos
 - La **Central Nodal** sustituye a las centrales secundarias y terciarias
 - Se establecen **Áreas Nodales**
- La red de acceso se digitaliza de manera paulatina
 - En la actualidad aún quedan algunas centrales locales analógicas
 - La **Central Autónoma** (central primaria) accede al nivel de tránsito
 - La **Central Remota** sustituye a las centrales locales

Evolución hacia la red digital

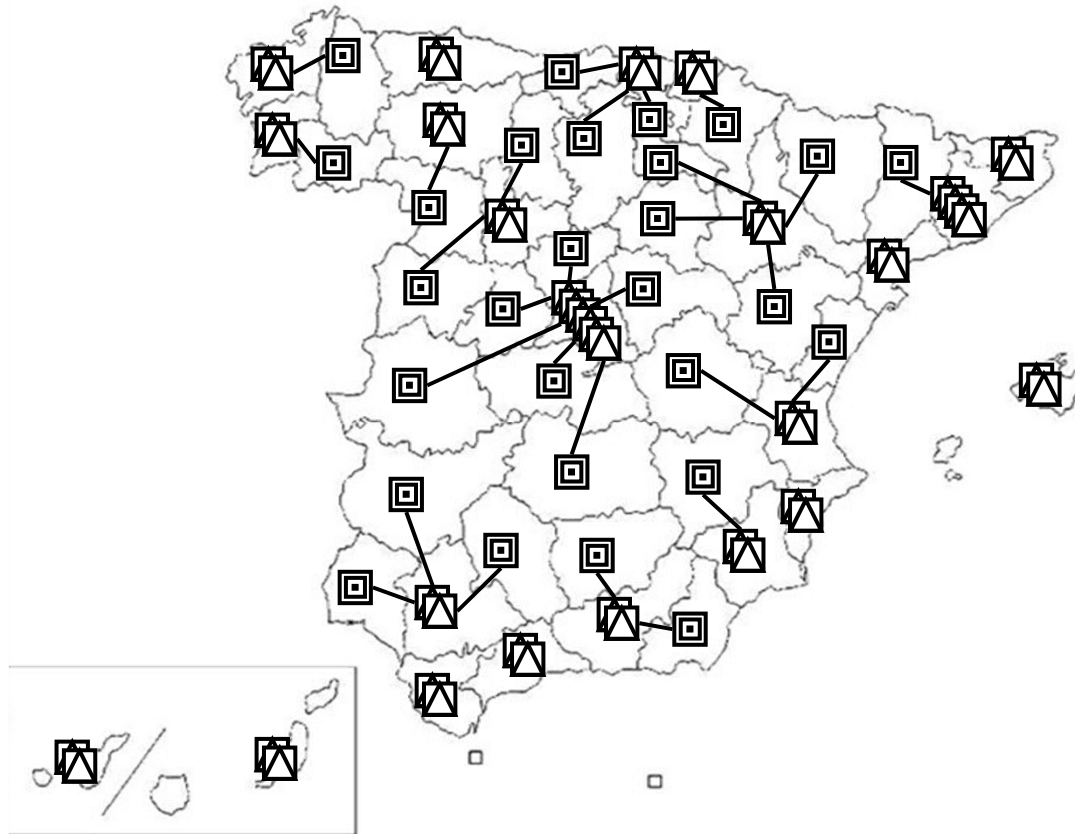
- Se definen dos niveles: Tránsito (Centrales Nodales) y Acceso (Centrales autónomas y remotas)



- En la red de tránsito se usa una topología mallada
- Cada área nodal tiene dos centrales nodales
- En España (2005)
 - 25 áreas nodales en 22 provincias
 - 28 centrales secundarias



Evolución hacia la red digital



▪ Situación en España (2005?)

- 711 Centrales Locales
 - 190 Centrales Locales Analógicas
 - 521 Centrales Autónomas Digitales
- 10.540 Centrales Remotas
- 25 parejas de centrales nodales en 22 provincias
- 28 CSD en otras tantas provincias
- 21 Centrales Primarias en 5 provincias
- 6953 inmuebles

Bucle de abonado

- También denominado como “la última milla”
- Par de cobre que conecta la central local con el abonado (usuario final)
- Uso tradicional de señales analógicas
 - Seguirá siendo así a medio plazo
 - Gran capilaridad del despliegue existente
 - Poco económico transformarlo en digital, es la parte más “cara” de la red
- ¿Cómo se envían datos – *señal digital* – a través del bucle de abonado?
 - Solución tradicional: MODEM
 - Convierte la señal digital a analógica y viceversa
 - Diferentes recomendaciones
 - La de mayor capacidad: V90 (56 kbps en el ancho de banda de la voz 4 kHz)
 - Actualmente: ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line)
 - Se aprovecha toda la capacidad del par de cobre
 - Se sustituye el filtro de la central
 - Capacidad en función de la distancia a la central, la calidad del cable,...

Bucle de abonado

- Otros “bucles de abonado”
 - Digitalización completa: Red Digital de Servicios Integrados (RDSI)
 - Soluciones inalámbricas (WiMax, incluso WiFi)
 - Cable Modem, para redes de distribución de TV por cable

Contenidos

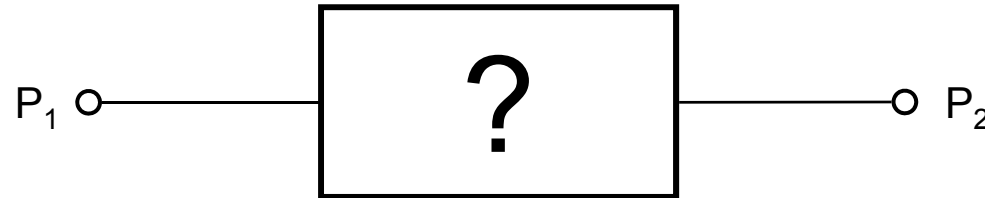
- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- **Transmisión**
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación

¿Qué es la transmisión?

- La señal utiliza “camino” para conectar dos puntos → CANAL de transmisión
- Las señales pueden ser:
 - Analógicas, que pueden tomar cualquier valor (continuas)
 - Se caracterizan por el ancho de banda
 - Digitales, valores discretos (típicamente 0 ó 1)
 - Tasa en símbolos/segundo (Baudios) o bits por segundo
 - Ventaja de la regeneración
- En general un “circuito” es el conjunto de dos o más facilidades conectadas para proporcionar una vía de comunicación entre dos puntos
- Efectos negativos sobre la señal
 - Atenuación
 - Distorsión (sistemas no lineales)
 - Ruido

Niveles de potencia

- Sea un sistema cualquiera, con una potencia de entrada P_1 y otra de salida P_2



- Se definen la ganancia (G) y la atenuación (L) del sistema (en escala logarítmica – decibelios o dB)

$$(G)_{\text{dB}} = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \qquad (L)_{\text{dB}} = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

- Medida relativa, es necesario disponer de una referencia
 - En telefonía se suele utilizar 1 mW

Transmisión inalámbrica: Propagación

- Medios de transmisión guiada
 - Par trenzado, cable coaxial, fibra óptica
- Propagación electromagnética – Comunicaciones inalámbricas
- La potencia de la señal disminuye a medida que “viaja” por el medio inalámbrico
- La potencia de la señal DECRECE con la distancia
- Depende de varios factores
 - Frecuencia de operación
 - Terreno
 - Presencia de línea de vista (*Line of Sight* o LoS)
 - Múltiples caminos
 - Desvanecimientos

Transmisión inalámbrica: Propagación

- Habitualmente se emplean diferentes modelos
 - Espacio libre
 - Tierra plana o dos rayos
 - ...
- De manera genérica, se puede afirmar que las pérdidas de propagación (*path loss* o PL), en término medio se puede calcular como...

$$\overline{PL(d)} \propto \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \longrightarrow \text{Potencia en Recepción: } \overline{P_{RX}(d)} = P_{TX} \frac{\beta}{d^n}$$

- El exponente 'n' se suele determinar de manera empírica
 - Espacio libre: $n = 2$
 - Zona urbana celular: $n \in [2.7, 3.5]$
 - Zona urbana celular (con *Shadowing*): $n \in [3, 5]$
 - LoS en interiores: $n \in [1.6, 1.8]$ (Más bajo que *Espacio Libre*)
 - Interiores con obstáculos: $n \in [4, 6]$
 - Entornos industriales con obstáculos: $n \in [2, 3]$

Contenidos

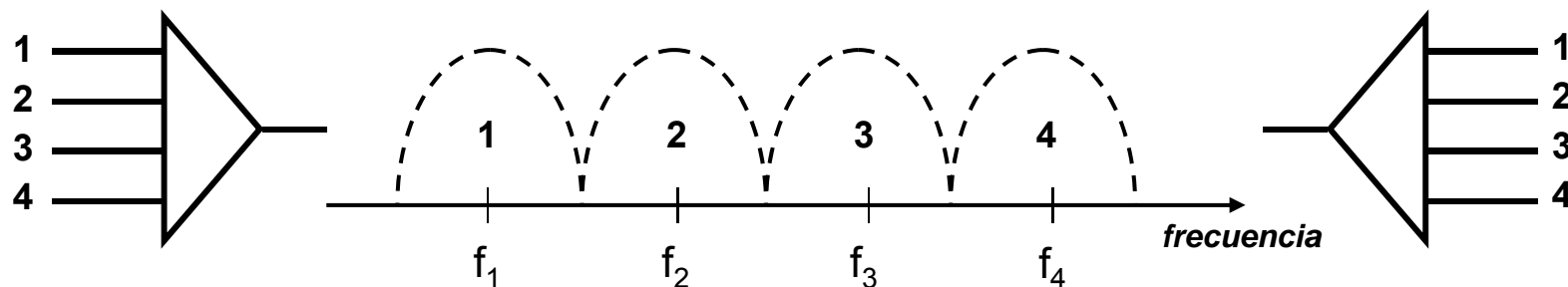
- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- **Multiplexación**
- Técnicas de conmutación
- Introducción a las arquitecturas de protocolos

¿Qué es la multiplexación?

- Se cuenta con un canal (recurso) con mayor capacidad que la necesaria para la señal a transmitir
- Se aprovecha la capacidad sobrante para transmitir varias señales simultáneamente
- MULTIPLEXACIÓN: combinación, en transmisión, de varias señales sobre un único canal
- DEMULTIPLEXACIÓN: extracción, en recepción, de las señales individuales a partir de la señal combinada (multiplexada)
- Los métodos de multiplexación se diferencian en función del recurso que se comparte:
 - Frecuencia: *Frequency Division Multiplex* o FDM
 - Tiempo: *Time Division Multiplex* o TDM

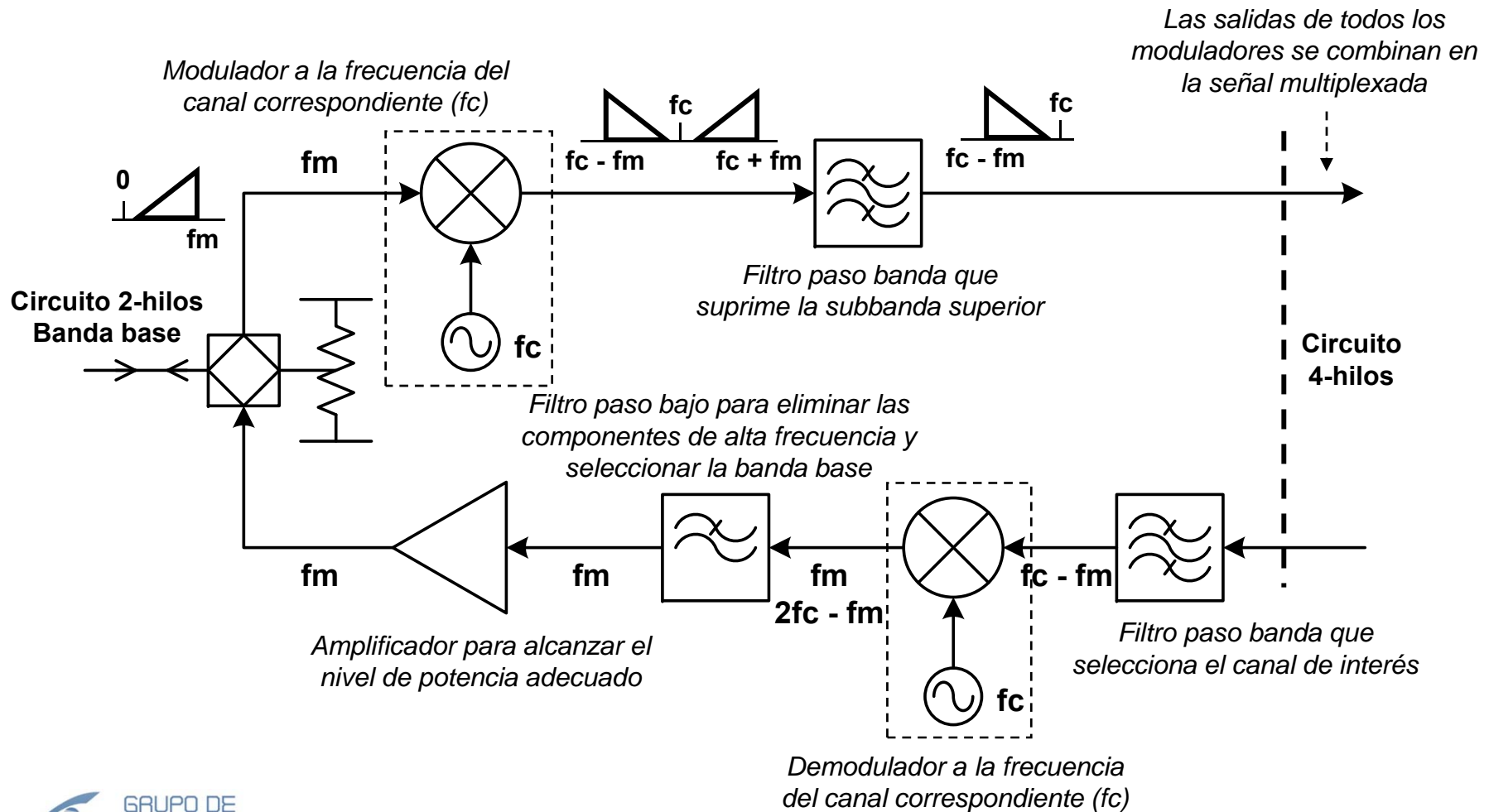
Multiplexación FDM

- Se transmite cada señal (banda base) modulada con una portadora diferente (canales independientes entre sí)
- Se emplea con señales y tecnología analógicas
- Se suele utilizar una banda de guarda entre cada canal
- En señales telefónicas cada canal tiene una anchura de 4 kHz y se definen diferentes agrupamientos



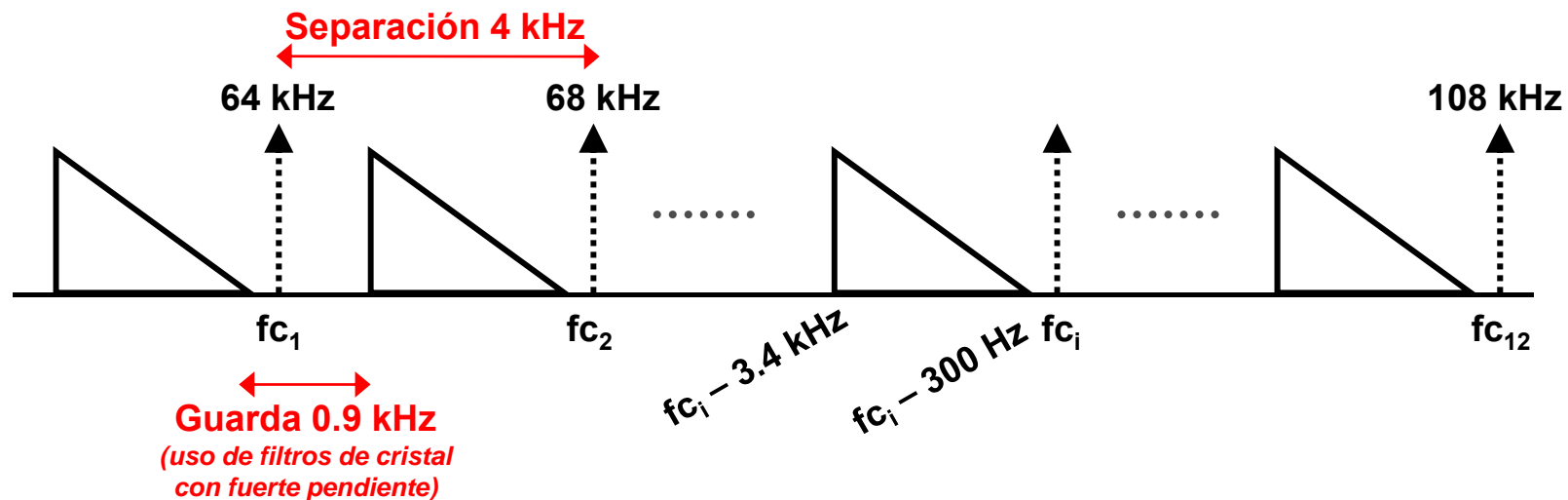
Multiplexación FDM

- Esquema de un DEMUX (demultiplexor/multiplexor) FDM



Multiplexación FDM

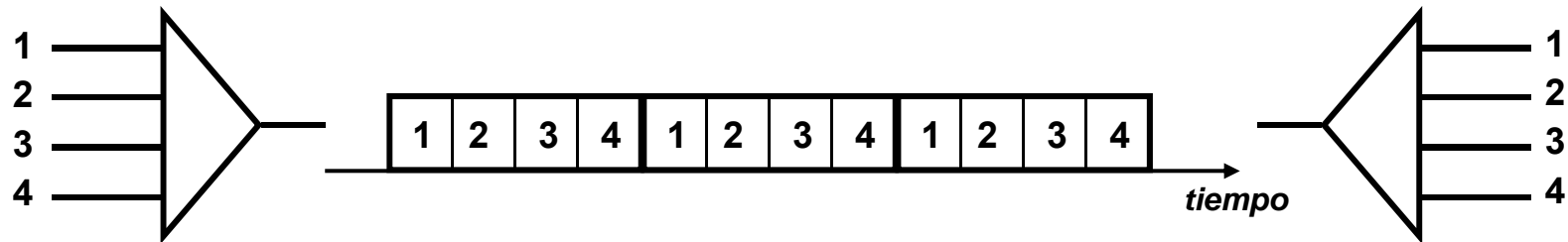
- Recomendación de la ITU-T (antiguamente CCITT) para la agrupación de canales telefónicos
 - Grupo primario (o grupo básico): agrupación de 12 canales (de 4 kHz cada uno) entre 60 y 108 kHz (ancho de banda, *bandwidth* o BW, de 48 kHz)



- Grupo secundario: 5 grupos primarios (60 canales), entre 312 y 522 kHz
- Grupo terciario: 5 grupos secundarios (300 canales), entre 812 y 2044 kHz
- Grupo cuaternario: 3 grupos terciarios (900 canales), entre 8.516 y 12.388 MHz

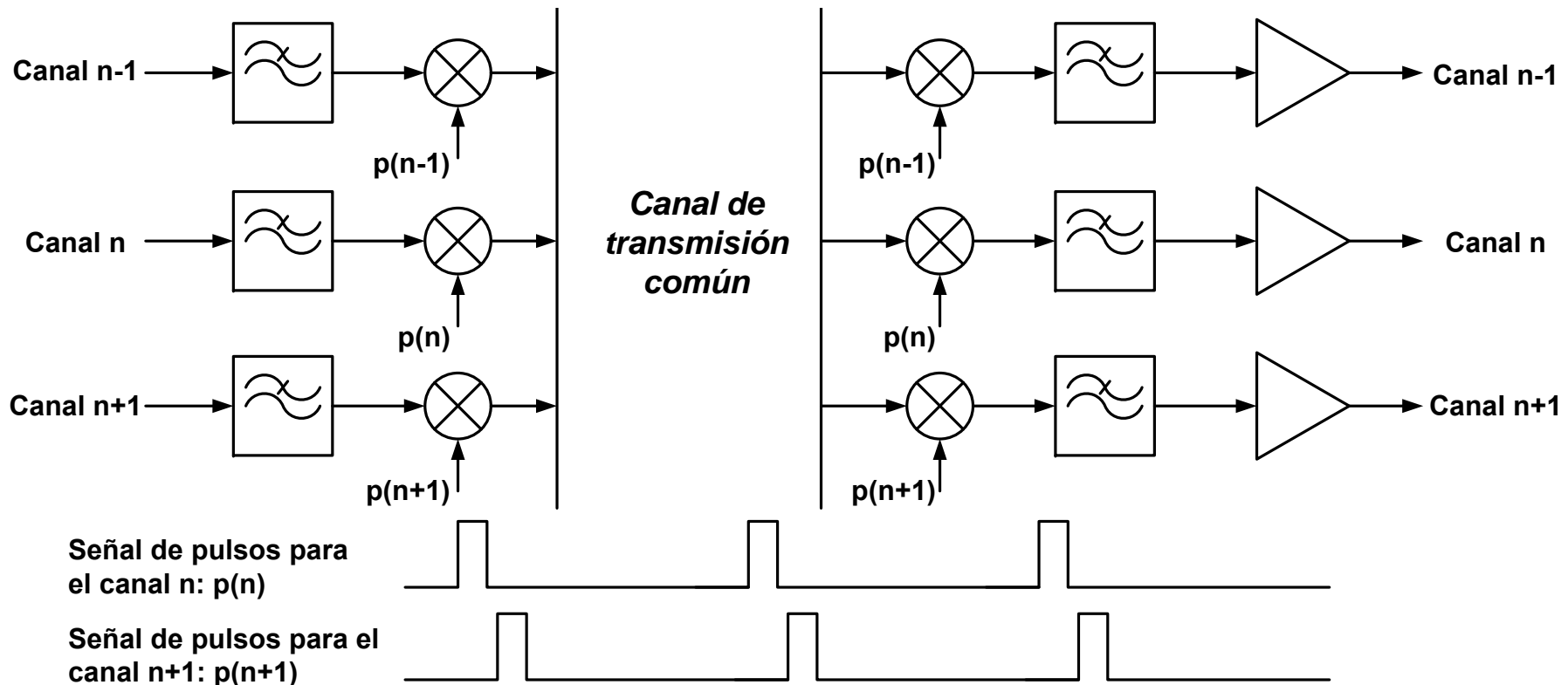
Multiplexación TDM

- Toda la señal de banda base ocupa el canal (recurso) completamente durante un periodo de tiempo determinado
- Se suele emplear con señales digitales



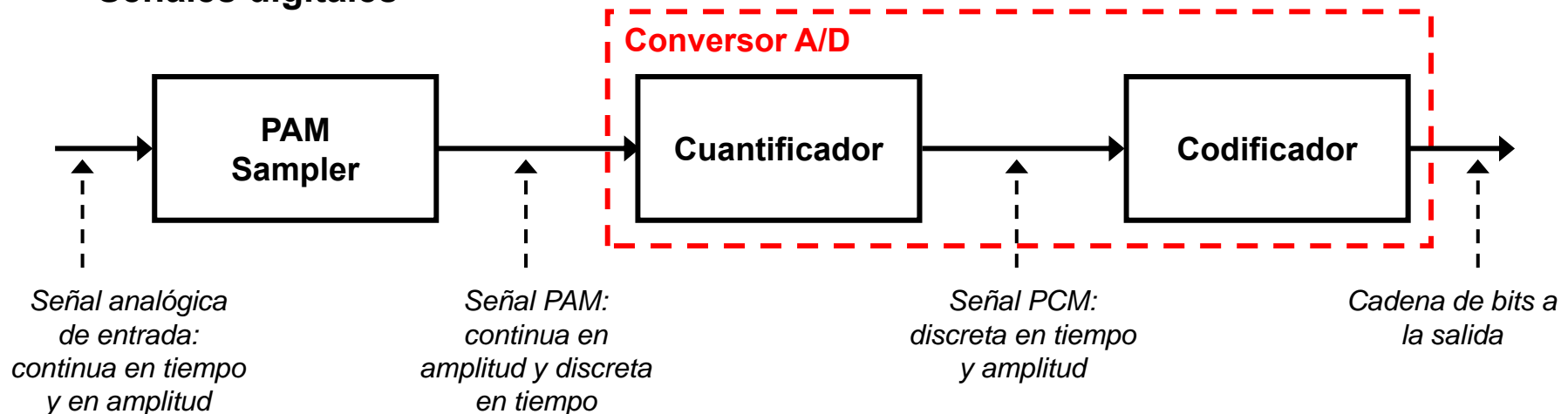
Multiplexación TDM

- Sistema (transmisor/receptor) TDM básico
- Se utiliza una señal de pulsos para determinar el ramal que transmite/recibe
 - La sincronización entre transmisor y receptor es fundamental



Multiplexación TDM

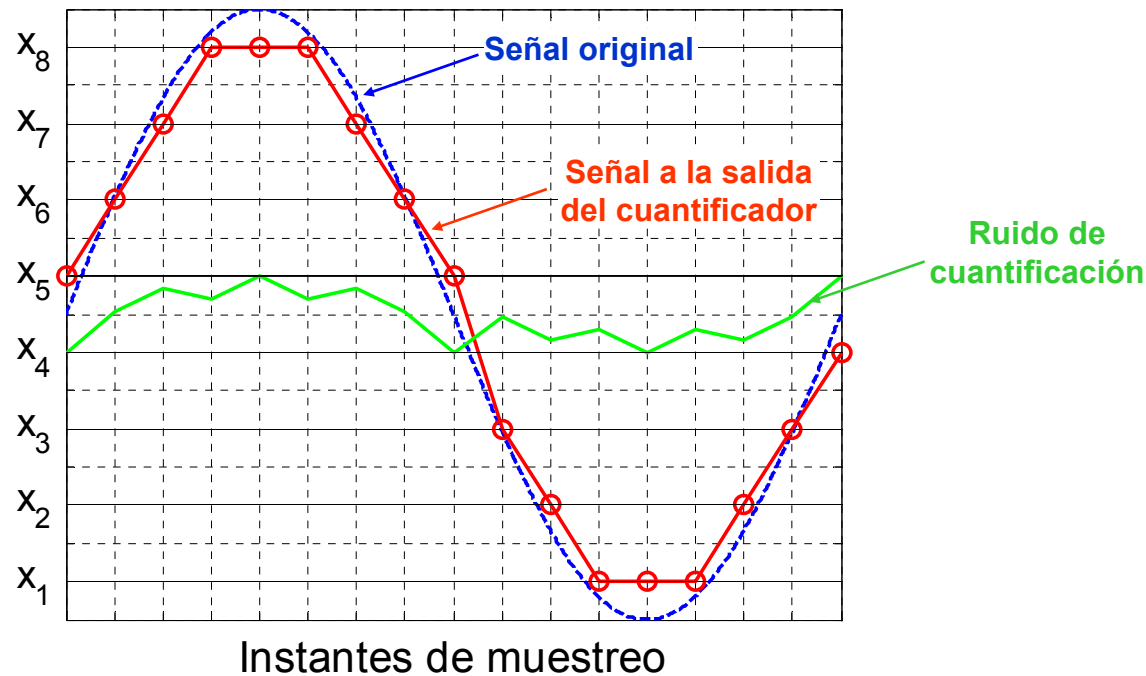
- Señal modulada en amplitud con pulsos (*Pulse Amplitude Modulation* o PAM)
 - No se emplea en sistemas reales por la atenuación y el retardo de grupo de los medios de transmisión
- La multiplexación TDM se emplea con señales PCM (Pulse Code Modulation):
Señales digitales



- **Teorema de muestreo de Nyquist:** una señal muestreada contiene la misma información que la original si se muestrea, como mínimo, al doble de la máxima frecuencia de aquella
 - Para señales de voz, la frecuencia de muestreo mínima será de 8 kHz

Ruido de cuantificación

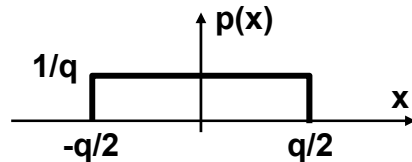
- La cuantificación es el proceso por el que una señal continua se mapea en un conjunto discreto de valores
- Aun cumpliendo el teorema de Nyquist, al discretizar la señal continua se comete un ruido de cuantificación (dependerá del número de bits empleado)



Ruido de cuantificación

- Cálculo del ruido de cuantificador

- Se asume una señal distribuida uniformemente entre $-E_{\max}$ y E_{\max} , coincidiendo con el rango del cuantificador (uniforme)
- El cuantificador tendrá $N = 2^B$ niveles (B es el número de bits)
- Anchura de cada 'tramo' o nivel: $q = \frac{2E_{\max}}{2^B}$
- En un intervalo cualquiera, la fdp del error es uniforme



$$(\sigma_n^2)_{\text{intervalo}} = \int_{-q/2}^{q/2} e^2 p(e) de = \frac{1}{q} \int_{-q/2}^{q/2} e^2 de = \frac{q^2}{12}$$

- La potencia de ruido total se obtiene ponderando la de todos los intervalos

$$\sigma_n^2 = \sum_{i=0}^{N-1} \sigma_i^2 p(i) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{q^2}{12} \frac{1}{N} = \frac{q^2}{12} = \frac{1}{12} \left(\frac{2E_{\max}}{2^B} \right)^2$$

Ruido de cuantificación

- Cálculo de ruido de cuantificación

- Potencia de la señal de entrada (uniforme entre $-E_{\max}$ y E_{\max})

$$\sigma_x^2 = \int_{-E_{\max}}^{E_{\max}} x^2 p(x) dx = \int_{-E_{\max}}^{E_{\max}} x^2 \frac{1}{2E_{\max}} dx = \frac{(2E_{\max})^2}{12}$$

- La relación SNR es el cociente de la potencia de señal y la de ruido

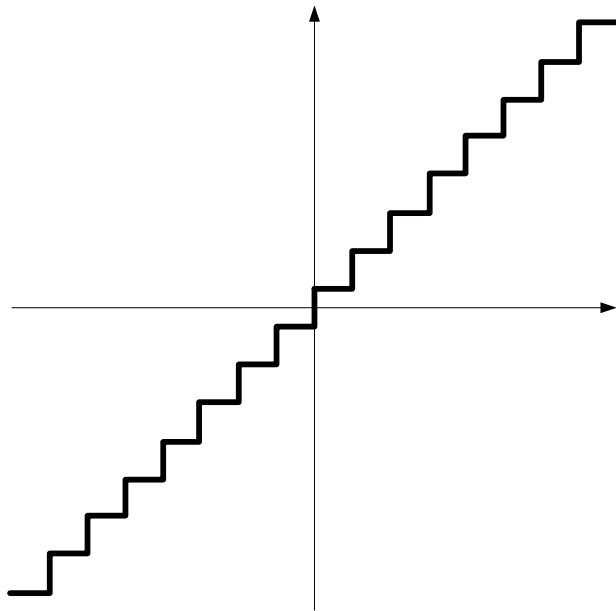
$$\text{SNR} = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_n^2} = \frac{\frac{(2E_{\max})^2}{12}}{\frac{1}{12} \left(\frac{2E_{\max}}{2^B} \right)^2} = 2^{2B}$$

$$(\text{SNR})_{\text{dB}} = 10 \log(\text{SNR}) = 10 \log(2^{2B}) = 20B \log(2) \approx 6B$$

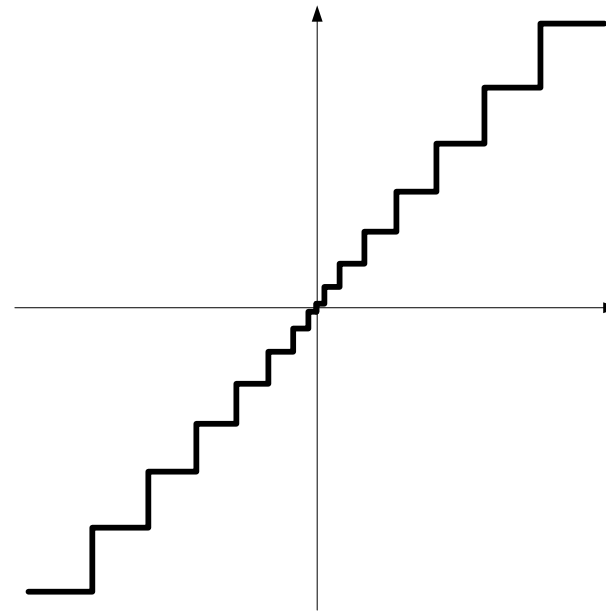
- Se mejora 6 dB por cada bit que se incorpore al cuantificador
- Hay que tener en cuenta también el nivel de sobrecarga (señal que se ‘sale’ del rango del cuantificador)

Ruido de cuantificación

- En función de las características de la señal de entrada puede ser apropiado utilizar esquemas de cuantificación no uniformes



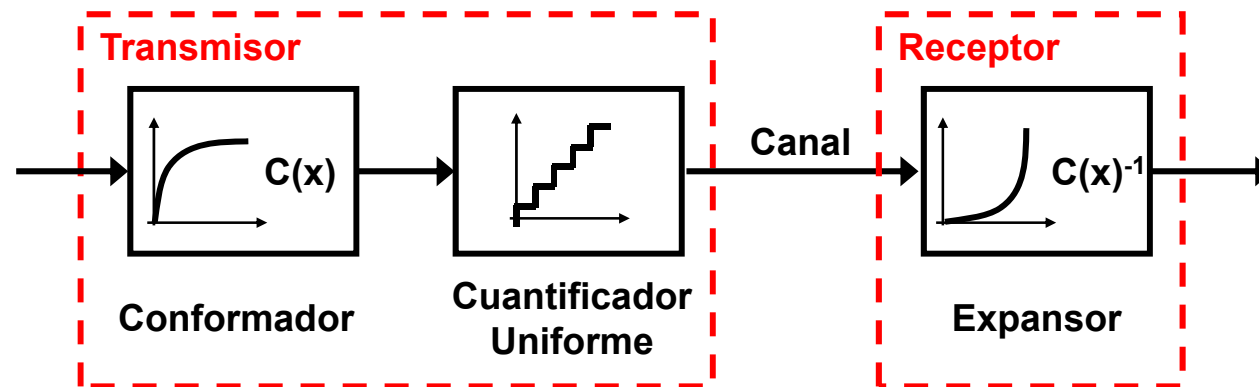
Cuantificación Uniforme



Cuantificación No Uniforme

Ruido de cuantificación

- Implementación real de cuantificación no uniforme



- Si se conoce la pdf de la señal de entrada es posible ‘encontrar’ el conformador óptimo
- Aun sin conocer la pdf (señal de voz) un conformador logarítmico permite obtener una SNR constante
- Para sistemas de voz se emplean dos leyes de compresión
 - En Europa: Ley A
 - En Estados Unidos y Japón: Ley μ

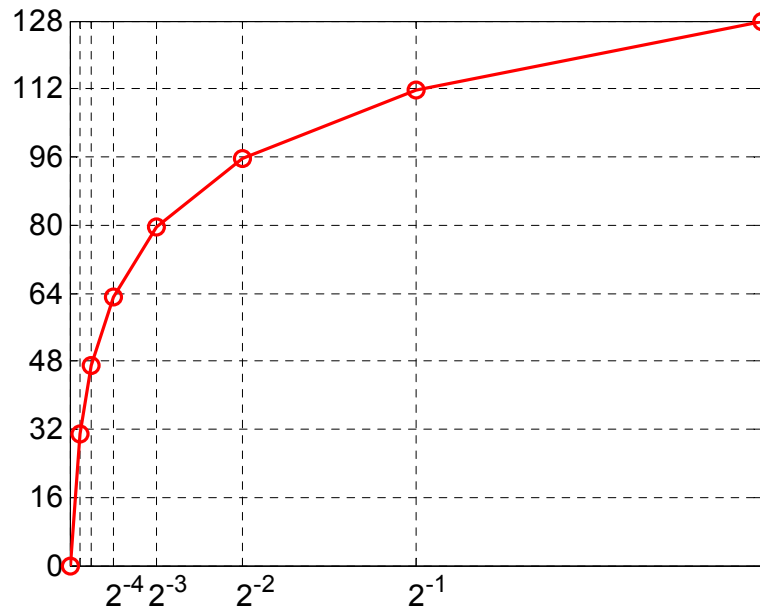
Ruido de cuantificación

Ley A (A = 87.56)

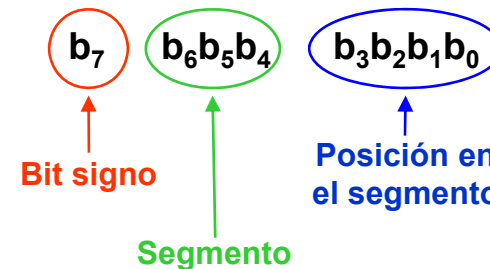
$$y = \begin{cases} \frac{1 + \ln(A \cdot |x|)}{1 + \ln A} \operatorname{sgn}(x) & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \\ \frac{A|x|}{1 + \ln A} \operatorname{sgn}(x) & 0 \leq |x| < \frac{1}{A} \end{cases}$$

Ley μ ($\mu = 255$)

$$y = \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \operatorname{sgn}(x) \quad 0 \leq |x| \leq 1$$

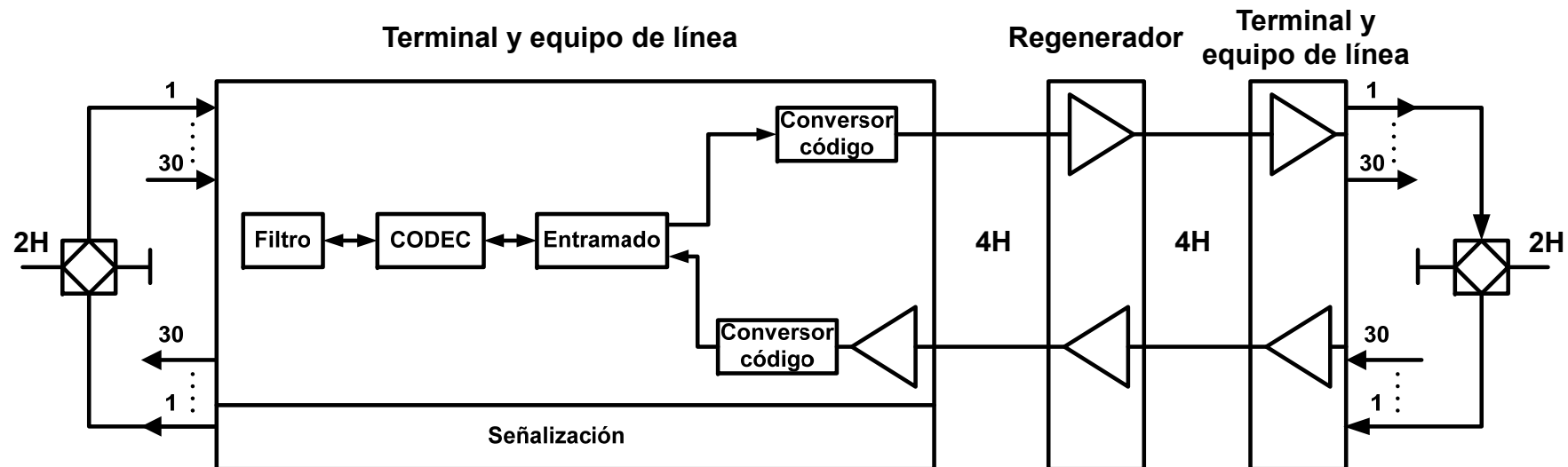


- La SNR es en ambos casos aproximadamente 38 dB
- Se implementa con una función lineal a tramos
 - En la ley A, se usan 7 segmentos (en los valores positivos)



Grupo primario PCM

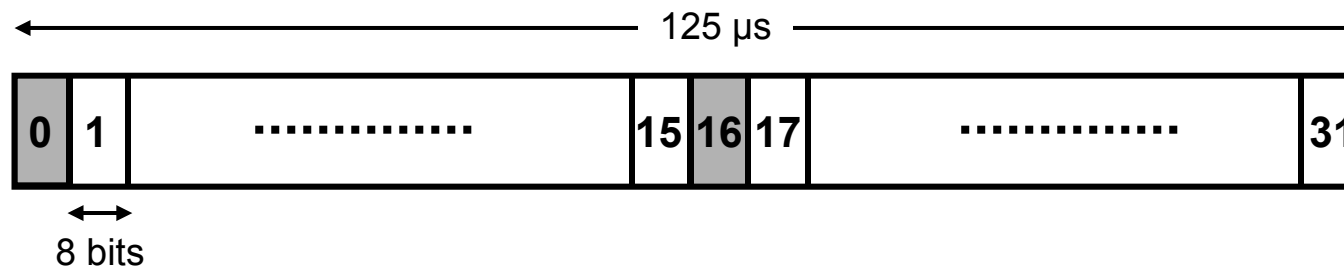
- Se combina la Modulación por Impulsos Modificados, MIC (*Pulse Code Modulation*) y TDM para transmitir varias señales telefónicas
- En la ITU se definen dos sistemas
 - G.732 (Europa), con 30 canales
 - G-733 (USA y Japón), con 24 canales
- Esquema de un sistema PCM



Grupo primario PCM

- Se agrupan 30 canales en una trama de 32 ranuras temporales, que se repite cada 125 μ s

- Frecuencia de muestreo: 8 kHz $\rightarrow T(\text{ms}) = \frac{1}{f(\text{kHz})} = \frac{1}{8} = 0.125 \text{ ms}$



- Velocidad por canal = 64 kbps (8 bits / 0.125 ms)
 - Velocidad total = 2.048 Mbps (8 bits · 32 ranuras / 125 μ s)
- Ranura 0
 - Alineación (en las tramas impares): X0011011
 - Señalización (en las tramas pares): X1F0XXX
- NOTA**
F: Informa de posibles fallos
X: Reservado
- Ranura 16 \rightarrow Señalización adicional
 - Las otras 30 ranuras llevan la información de los canales de voz

Grupo primario PCM

- Señalización ranura 16
 - Se define una multitrama como agrupación de 16 tramas consecutivas
 - La primera (trama 0) se emplea para alineamiento (0000XFXX)
 - El resto se emplea para la señalización de los canales telefónicos que viajan en la trama PCM

	$b_1b_2b_3b_4$	$b_5b_6b_7b_8$
Trama 1	Canal 1	Canal 17
Trama 2	Canal 2	Canal 18
⋮	⋮	⋮
Trama 15	Canal 15	Canal 31

- Cada 'circuito' dispone de 4 canales de señalización independientes
 - $1 \text{ bit} / (16 \text{ tramas} \cdot 125 \mu\text{s}) = 500 \text{ bps}$

Jerarquía Digital Plesiócrons

- Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)
- Primera generación de sistemas de multiplexación digitales
- No se puede asegurar una sincronización completa entre los elementos
- Se basa en los grupos primarios PCM
 - Europa (Grupo E1 a 2.048 Mbps)
 - Japón y USA (Grupo DS1 a 1.544 Mbps)
- La velocidad 'oscila' ligeramente alrededor de la nominal
 - Sincronización basada en bits adicionales de sobrecarga
 - Tramas de alineamiento y 'justificación'
- Justificación
 - Permite a la pareja MUX/DEMUX mantener una operación correcta
 - En Europa se usa la justificación positiva: la tasa en los tributarios de entrada es ligeramente inferior, por lo que se añaden bits adicionales
 - Los bits se eliminarán en el demultiplexor

Jerarquía Digital Plesiócrons

- Tributarias en Europa y Estados Unidos

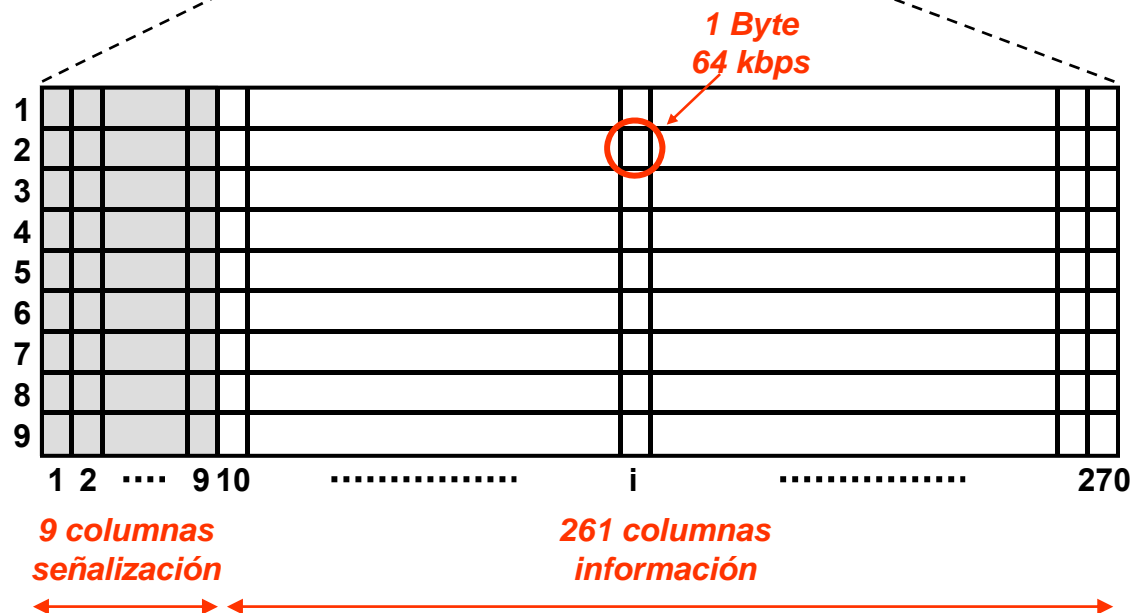
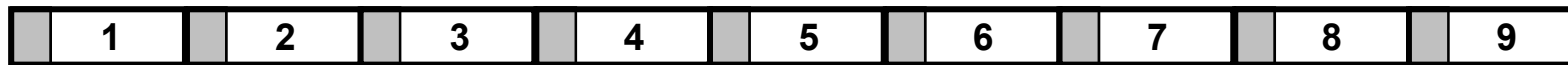
	Europa			USA		
	Circuitos	Velocidad (Mbps)	Nombre	Circuitos	Velocidad (Mbps)	Nombre
Nivel 0	1	64 kbps	-	1	64 kbps	-
Primer Nivel	30	2.048	E1	24	1.544	DS1/T1
Segundo Nivel	120	8.448	E2	96	6.312	DS2/T2
Tercer Nivel	480	34.368	E3	672	44.736	DS3/T3
Cuarto Nivel	1920	139.264	E4	4032	274.176	DS4/T4
Quinto Nivel	7680	564.992	E5	5760	400.352	DS5

Jerarquía Digital Síncrona

- Synchronous Digital Hierarchy (SDH)
 - En USA se denomina SONET (Synchronous Optical NETwork), ya que se suele emplear sobre redes de fibra óptica
- Las redes han evolucionado y son capaces de operar de manera completamente digital, síncrona
- La señal básica SDH se denomina STM-1 (Synchronous Transport Module at level 1)
 - La velocidad es de 155.52 Mbps ~ 155 Mbps
 - La trama se representa como una matriz de 9 filas y 270 columnas, que se repite cada 125 μ s
 - Cada celda tiene 8 bits \rightarrow $(8 \text{ bits} \cdot 9 \text{ filas} \cdot 270 \text{ columnas} / 125 \mu\text{s}) = 155.52 \text{ Mbps}$
 - En SONET se denominan STS-x (Synchronous Transfer Signal) y siguen una numeración diferente; la señal óptica correspondiente se la conoce como OC-x
- La jerarquía utiliza agrupaciones del STM-1 (4n)
 - Se añaden bytes de sobrecarga (SOH, *Sections OverHead*)
- Las tasas de la PDH se pueden transportar en la señal STM-1
 - Cada tributaria tiene su carga útil
 - Transportan señales, se les denomina **contenedores**

Jerarquía Digital Síncrona

- Estructura de la trama STM-1

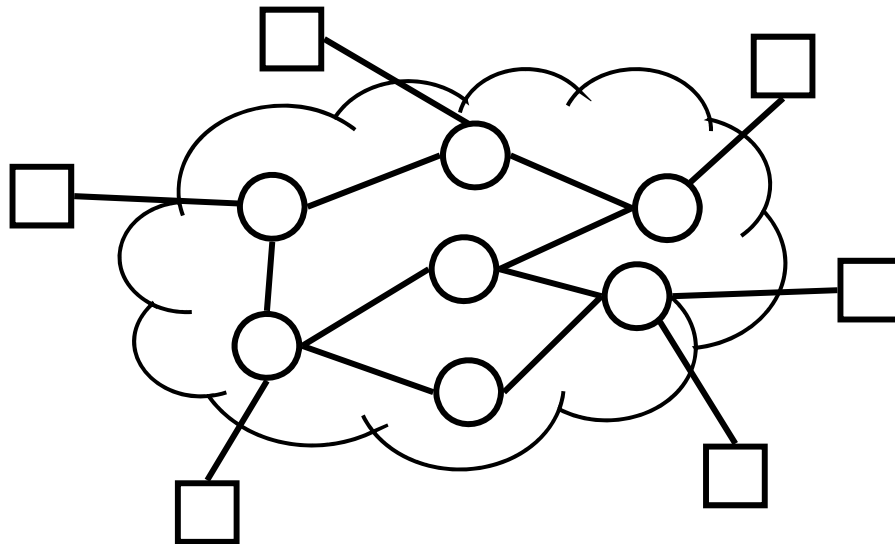


Contenidos

- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación

Conmutación

- Proceso mediante el cual la información ‘fluye’ por la red entre el transmisor y el receptor
- La red no está completamente mallada
 - Los caminos alternativos incrementan la fiabilidad

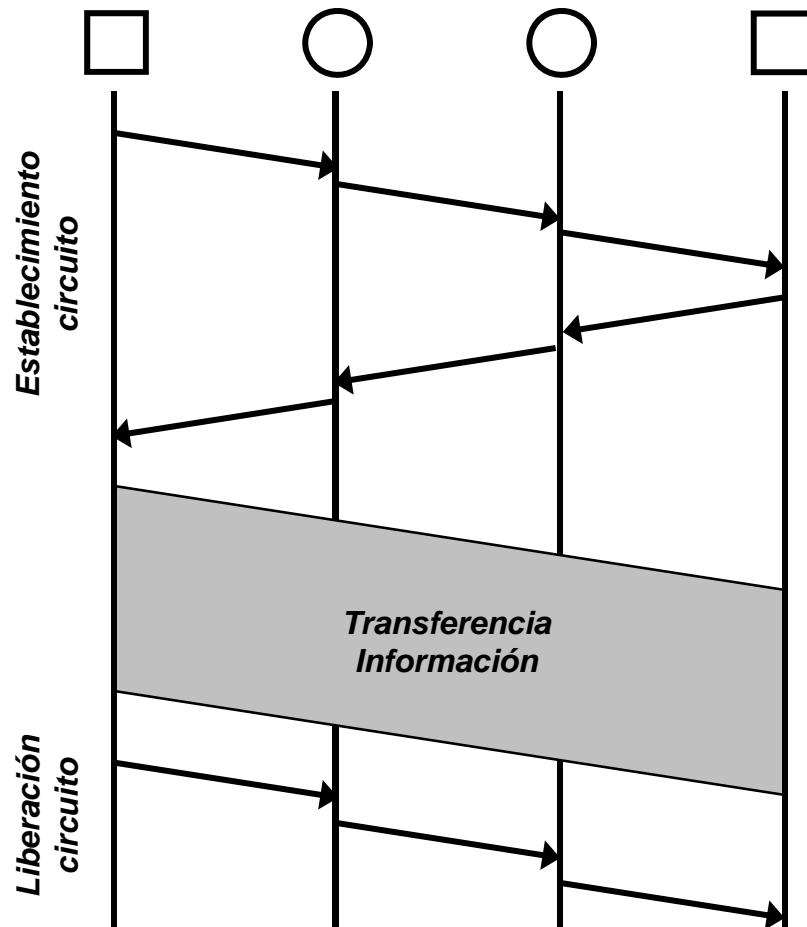


- Los dispositivos que se conectan a la red son las **estaciones**
 - Generan y reciben datos
- Los dispositivos que llevan a cabo la conmutación en la red son los **nodos**
 - Hay nodos que no están conectados con ninguna estación, y sólo realizan funciones de conmutación

Conmutación

- Conmutación de circuitos
 - Se establece un camino (secuencia de nodos interconectados) dedicado para la comunicación entre dos estaciones
 - Su uso principal es en aplicaciones de voz
- Conmutación de mensajes
 - No se requiere un camino dedicado
 - Se incluye cierta información de control, que permite ‘encaminar’ el mensaje al destino
- Conmutación de paquetes
 - Evolución natural de la conmutación de mensajes
 - Cada mensaje se ‘divide’ en un conjunto de elementos de información más pequeños, denominados paquetes

Conmutación de circuitos



- Consta de tres fases
 - **Establecimiento del circuito:** Se ‘reservan’ los recursos necesarios para llevar a cabo la comunicación
 - **Transferencia de los datos:** Se emplea el recurso anterior para transferir la información entre las dos estaciones
 - **Liberación del circuito:** Cuando la llamada finaliza, se liberan los recursos previamente reservados

Conmutación de circuitos

- Ligero retraso inicial, durante la fase de establecimiento
- Una vez que se establece el circuito, la capacidad es fija → No hay un retraso apreciable
- Capacidad de los nodos para ‘reservar’ los recursos necesarios
 - Los recursos están completamente dedicados durante la comunicación
- Adecuado para comunicaciones de voz (flujo de datos continuo)
- Cuando la información es a ráfagas (comunicaciones de datos) puede ser un esquema altamente ineficiente (mucho tiempo sin actividad)
- Se pueden dar bloqueos en las llamadas (cuando no se encuentren recursos para ser cursadas)

Conmutación de mensajes

- La información a transmitir conforma un mensaje, al que se le añade cierta información de control en una cabecera
- Los nodos reciben el mensaje, lo almacenan, lo procesan y lo reenvían
 - A partir de la información que aparece en la cabecera (p.ej. destino final)
- No hay recursos dedicados
- Más eficiente para flujos de información no continuos
 - En las comunicaciones entre computadores son apreciables los periodos de inactividad
- Establecimiento de sistemas para controlar errores
- Retraso asociado al procesamiento de los nodos intermedios
- Cuando la longitud del mensaje es elevada surgen problemas...
 - Capacidad de almacenamiento en los nodos
 - Posibles ineficiencias (p.ej. tras errores en la transmisión de un mensaje)

Conmutación de paquetes

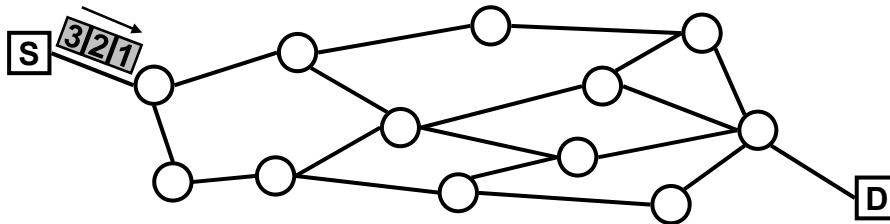
- Para solventar los problemas de la conmutación de mensajes, éstos se dividen en unidades lógicas más pequeñas: **PAQUETES**
 - Cada paquete lleva una parte de la información a transmitir y ciertos datos de control (para que la red pueda encontrar un camino válido al destino)
- Los paquetes tienen un límite en su longitud
 - La conmutación de mensajes es un caso particular de la conmutación de paquetes, en el que no hay límite en el tamaño de éstos
- La conmutación de paquetes (mensajes) permite que los recursos sean compartidos, lo que incrementa la eficiencia del sistema
- El bloqueo de llamadas no es relevante (un incremento de tráfico provoca un mayor retraso en las comunicaciones)
- Es posible establecer prioridades a los paquetes
 - Los paquetes con mayor prioridad experimentarán un menor retardo

Conmutación de paquetes

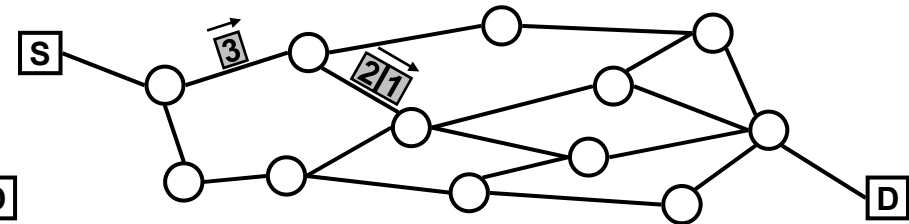
- Conmutación de paquetes en modo ‘datagrama’
 - Cada paquete viaja de manera independiente por la red: no siguen la misma ruta
 - Llegada ‘no ordenada’ al nodo de salida, que los ordena antes de entregarlos al destino (en algunas ocasiones los ordenaría el propio destino)
 - No hay fase de establecimiento
 - Más rápido cuando hay pocos paquetes
 - Mayor flexibilidad: se puede adaptar a los cambios en la red (congestión)

- Conmutación de paquetes en modo ‘circuito virtual’
 - Se establece una ruta (conexión lógica) antes de comenzar con el envío de paquetes
 - La ruta se usa durante toda la comunicación: similar a la conmutación de circuitos
 - Sin embargo, **NO HAY RECURSOS DEDICADOS: circuito virtual conmutado**
 - Se necesita una fase de establecimiento, pero el procesamiento de cada paquete es más rápido
 - Más apropiado para un intercambio de datos durante un periodo de tiempo
 - Llegada en orden de los paquetes (secuenciamiento)
 - Facilidad para establecer mecanismos de control de errores (y flujo)

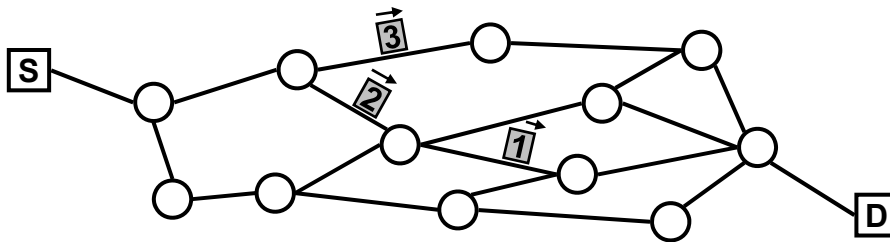
Conmutación de paquetes



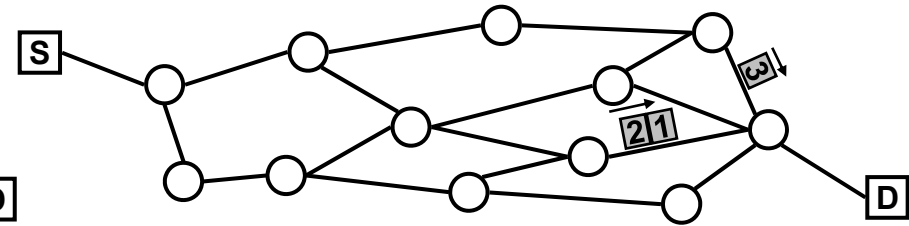
(1)



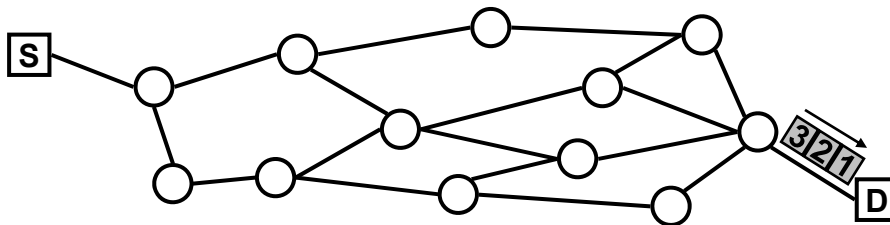
(2)



(3)



(4)

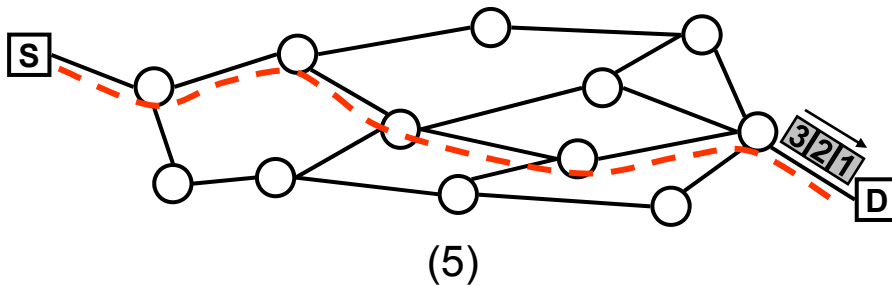
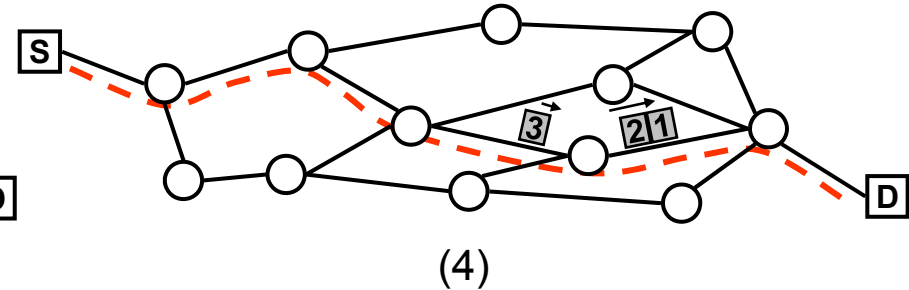
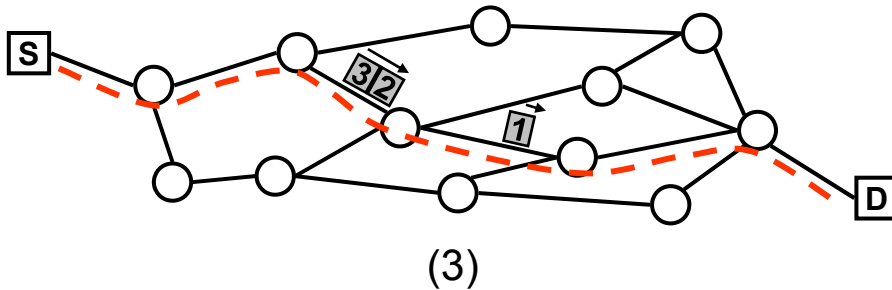
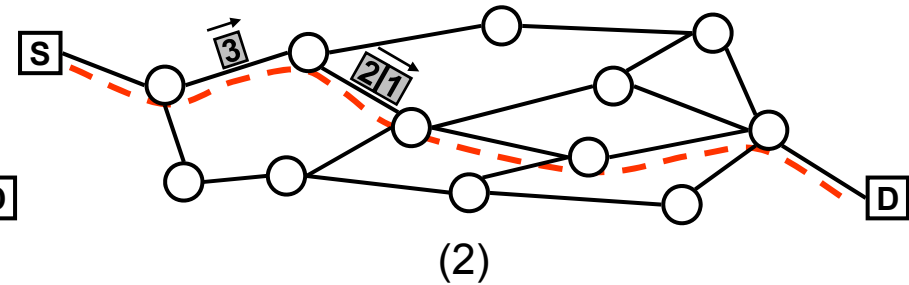
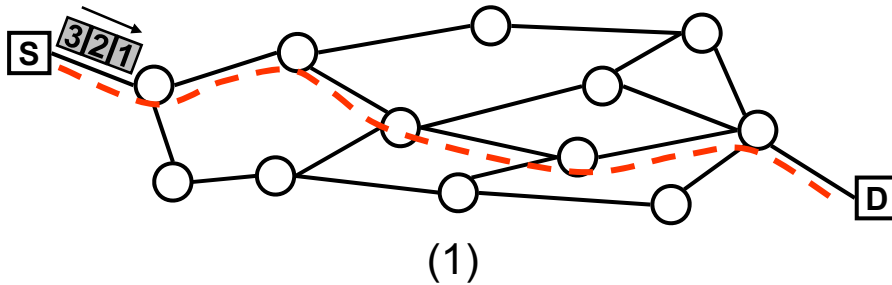


(5)

▪ Modo datagrama

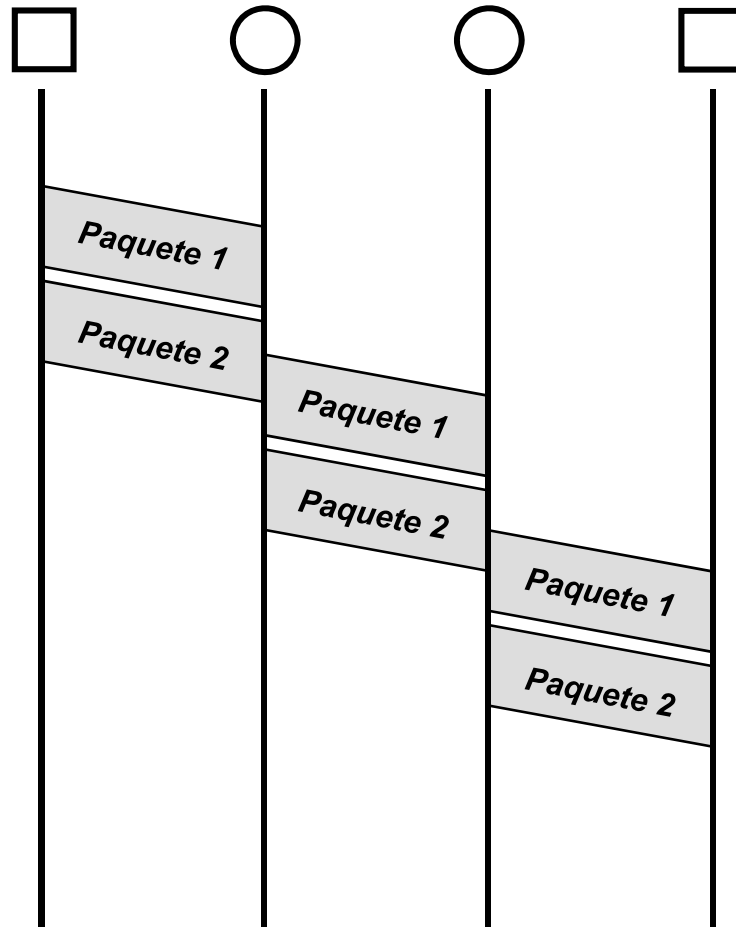
- Los paquetes no siguen la misma ruta
- Viajan de manera 'independiente' por la red

Conmutación de paquetes

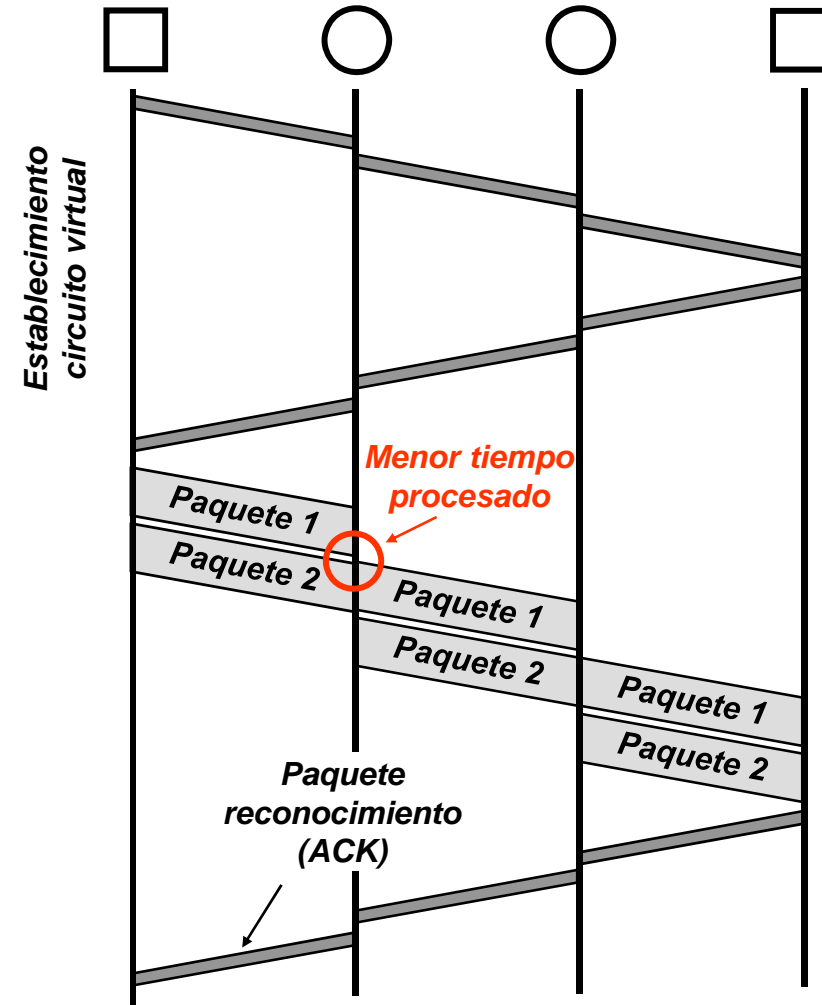


- Modo circuito virtual
 - Los paquetes utilizan la misma ruta para alcanzar el destino

Conmutación de paquetes



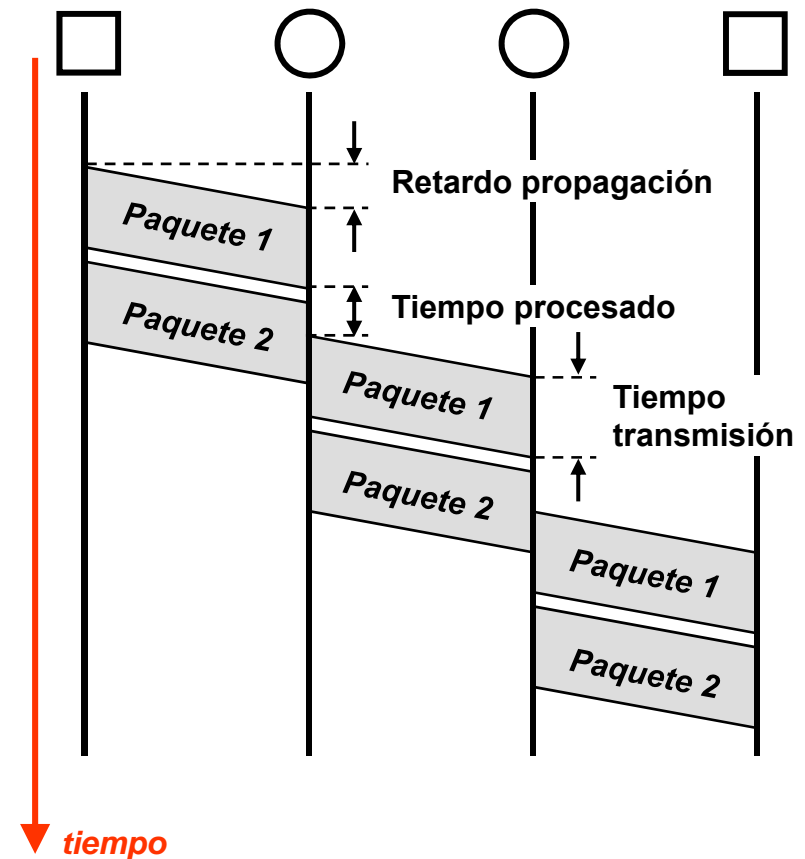
Modo datagrama



Modo circuito virtual

Conmutación de paquetes

- Retardo de propagación
 - Tiempo que tarda la señal en recorrer el enlace entre dos nodos
 - Depende de la longitud de la línea y de la velocidad de propagación en la misma
- Tiempo de transmisión
 - Tiempo que se tarda en transmitir un paquete por un enlace
 - Depende de la velocidad binaria y de la longitud del paquete (**incluyendo cabeceras**)
- Tiempo de procesado
 - Tiempo que tarda cada nodo en procesar un paquete
- Hay que tener en cuenta...
 - Tiempo de establecimiento (circuito virtual)
 - Número de nodos intermedios
 - Número de paquetes
 - Esquemas de reconocimiento



$$\text{Rendimiento: } R_b [\text{bps}] = \frac{\text{información} [\text{bits}]}{\text{tiempo}_{\text{total}} [\text{s}]}$$