

Tema 1 – Introducción

Ramón Agüero Calvo

ramon.agueroc@unican.es

***En la elaboración de estos apuntes han contribuido:
Ramón Agüero Calvo, Luis Muñoz Gutiérrez***

Contenidos

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

Contenidos

- Introducción a las redes de comunicaciones
- 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, 1860]**
 - Aparición de nuevos servicios: fax, telefonía móvil, datos,...
 - Hoy: 860.6 M líneas fijas^(*) (20 líneas banda ancha por 100 h.) y +8900 M de líneas móviles (+100% penetración, 95 líneas de banda ancha por 100 h.) ^(*)
 - Hay ~5500 M de usuarios de Internet (68%) ^(*)

¿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

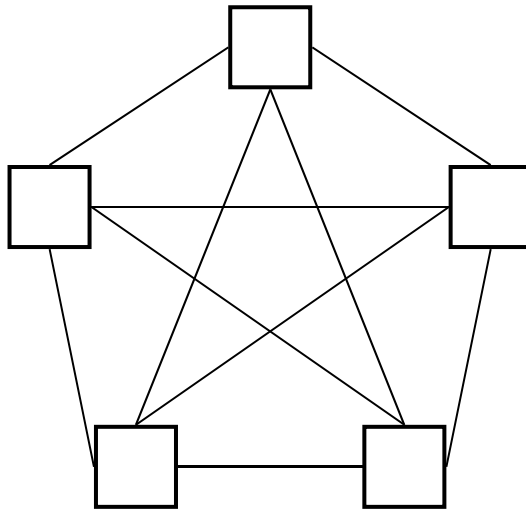
- ITU (International Telecommunication Union) – www.itu.int
 - ITU-T: ITU, sector de telecomunicaciones
 - ITU-R: ITU, sector de radiocomunicaciones
- ISO: International Standards Organization – www.iso.org
- ETSI: European Telecommunications Standard Institute – www.etsi.org
- ANSI: American National 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 de comunicaciones
- 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:

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

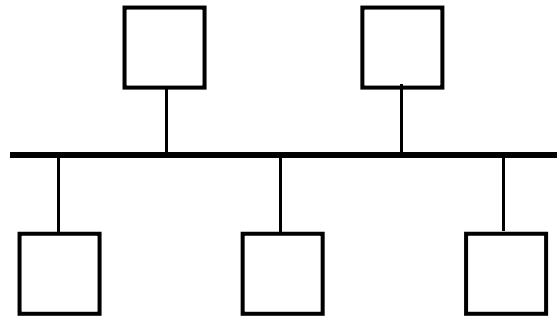
- Para N alto → crecimiento exponencial

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

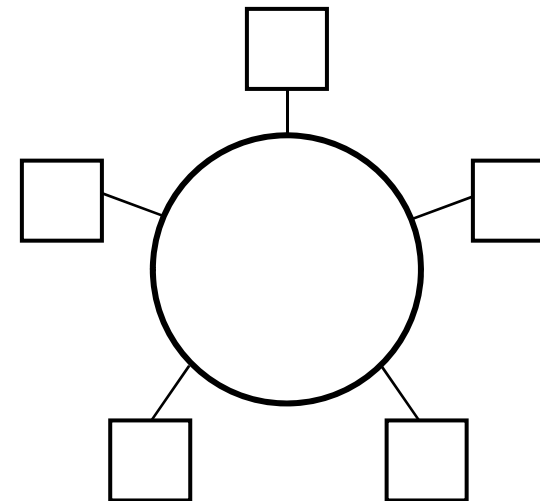
- Poco económico
- Sólo viable con redes pequeñas

Topologías de red

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



Red en Bus



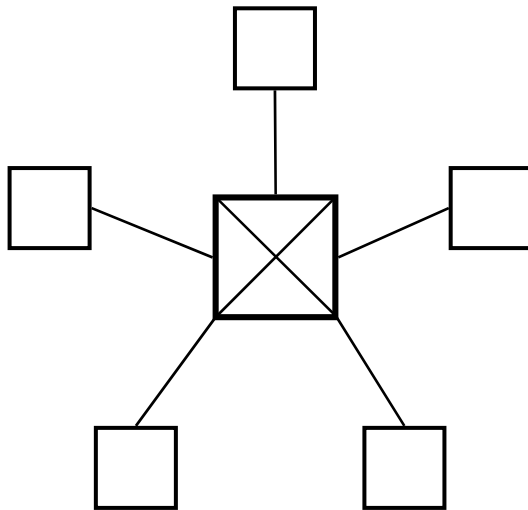
Red en Anillo

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

Topologías de red

■ Primeras redes de comunicación: Red Telefónica

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

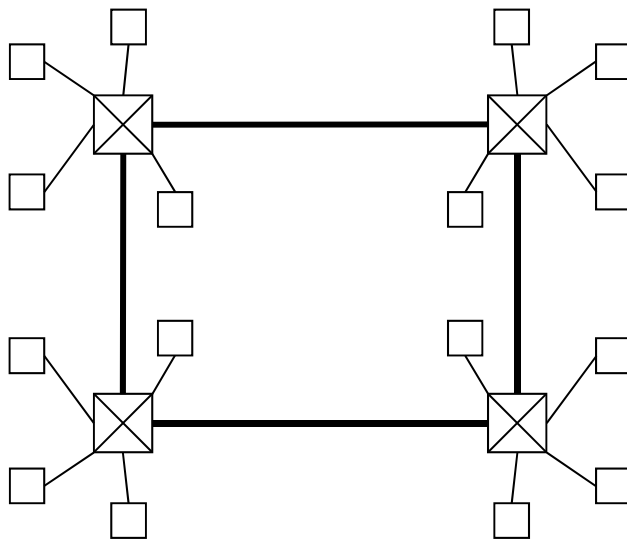


■ Red en Estrella

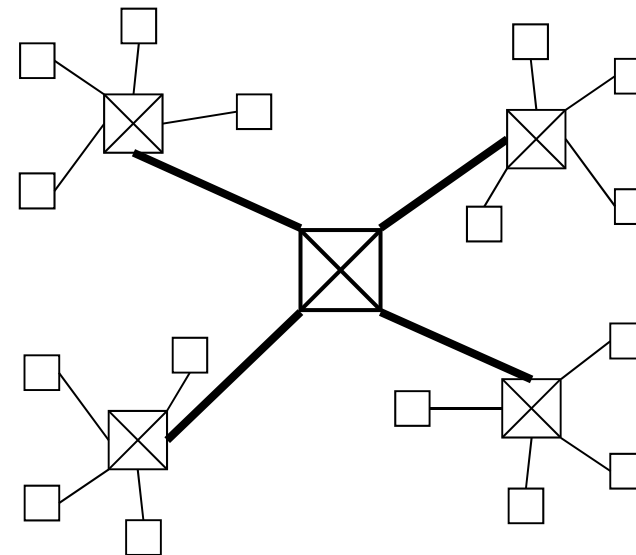
- $E = N \rightarrow$ Crecimiento lineal
- Central cara, pero solución rentable, al disminuir el # de líneas
- Solución escalable

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



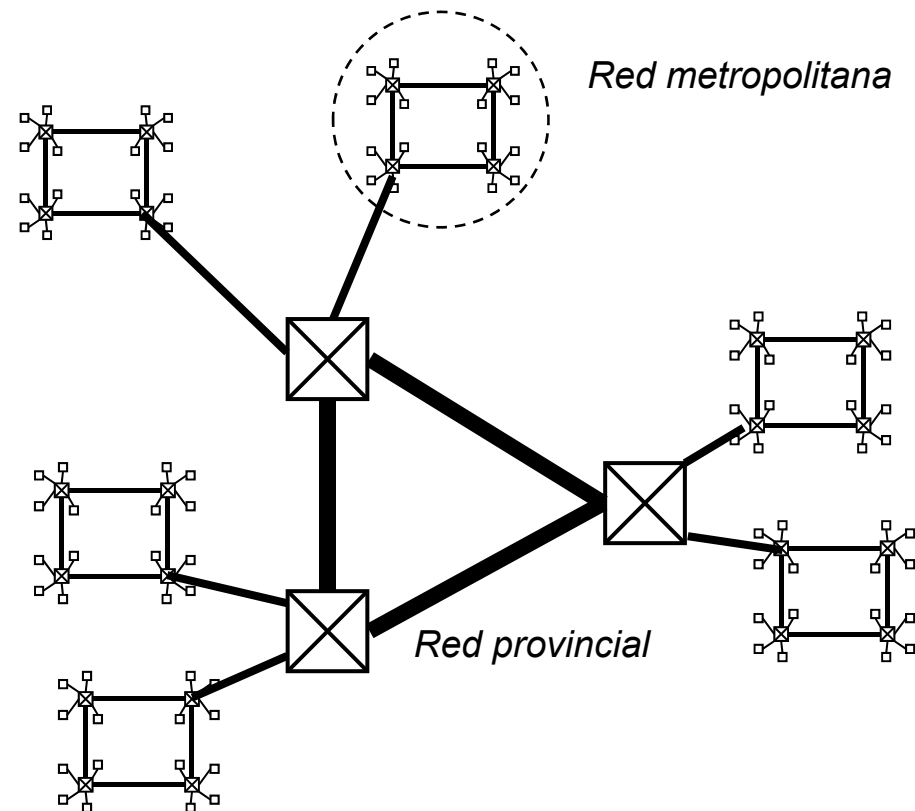
Conexión directa



*Conexión mediante **Central Tandem***

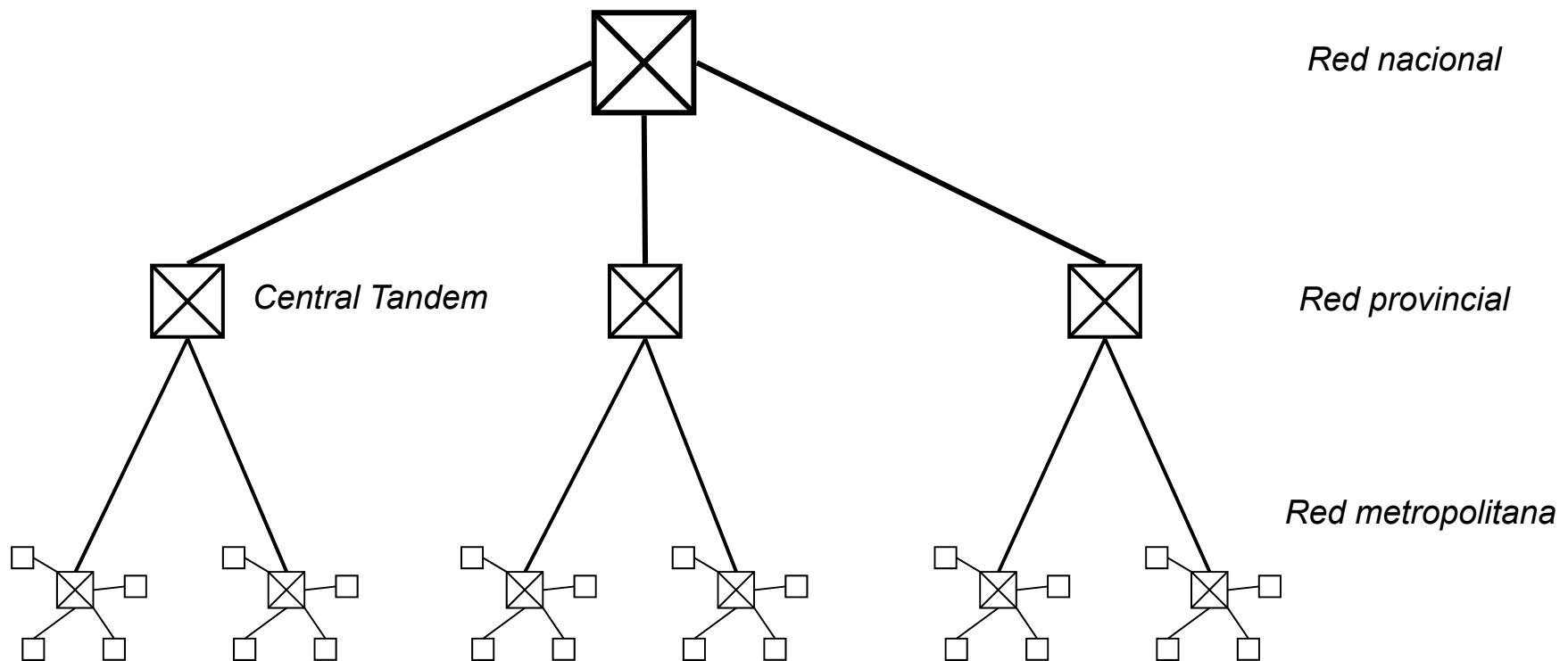
Estructura de la red telefónica

- Extensión geográfica → Establecimiento de una jerarquía en la red



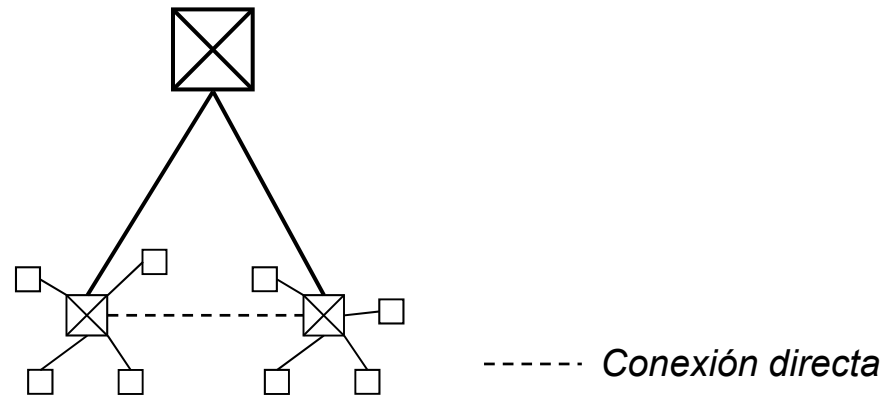
Estructura de la red telefónica

- 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

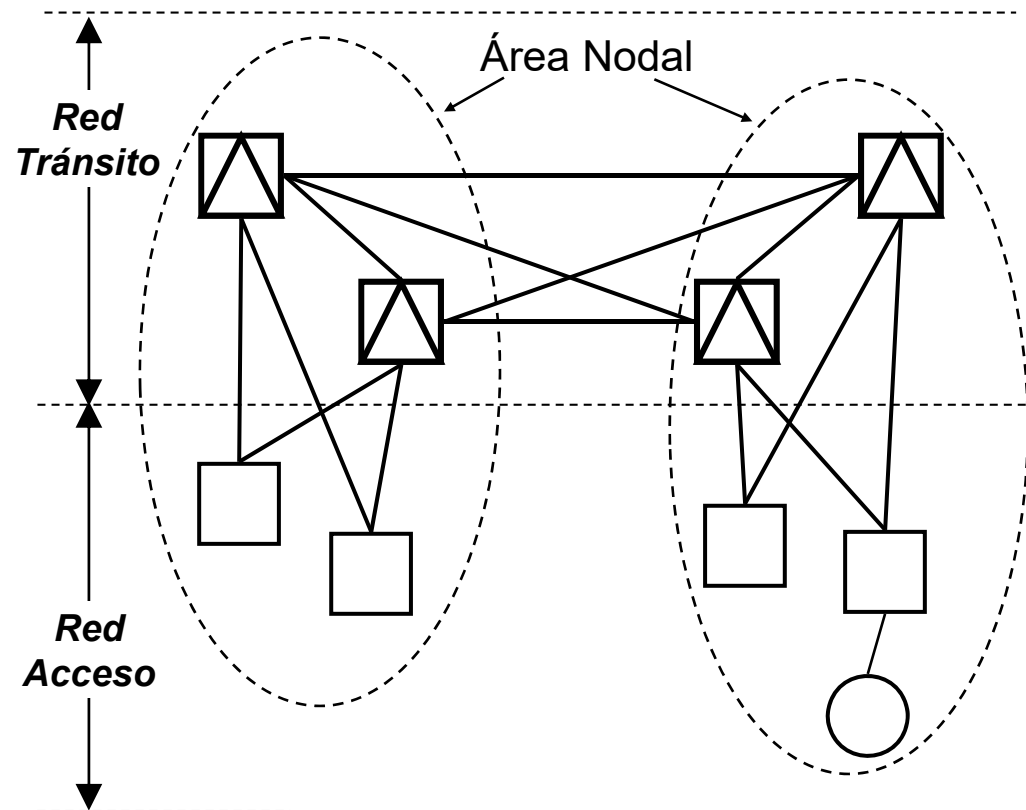
- Ruta y sección final
 - Enlaces entre las centrales que forman la estructura jerárquica de la red
 - La unión de las diferentes secciones finales conforma la ruta final
 - Dos abonados siempre pueden conectarse a través de la ruta final
 - No siempre supone la alternativa más económica
- Red complementaria
 - 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

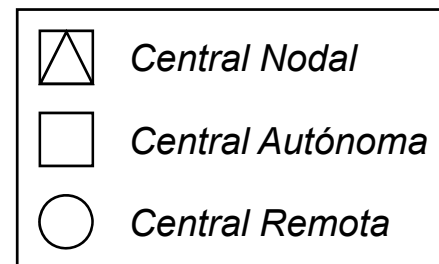
- Ventajas claras de la tecnología digital
- Digitalización de la red de tránsito nacional
 - Desaparecen niveles jerárquicos
 - La **Central Nodal** sustituye a las centrales secundarias y terciarias
 - Se establecen **Áreas Nodales**
- La red de acceso se digitaliza de manera paulatina
 - En la actualidad (2005) 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

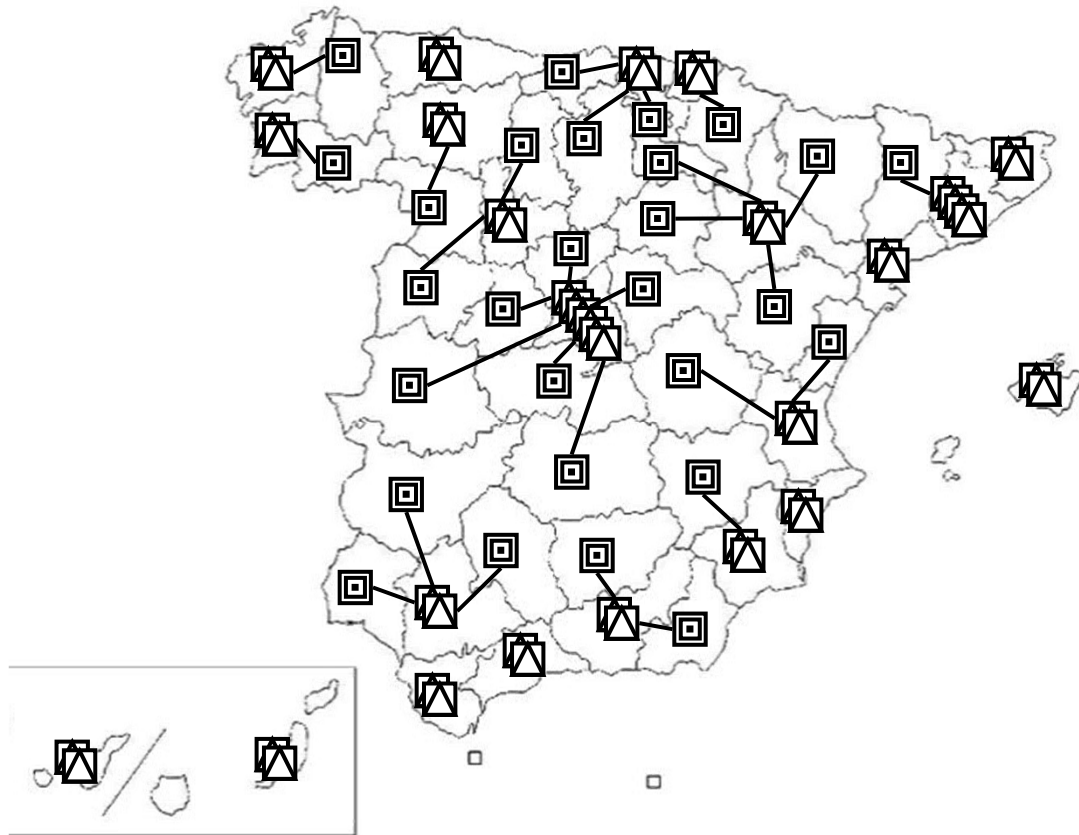
- Se definen dos niveles: Tránsito (Centrales Nodales) y Acceso (Centrales autónomas y remotas)



- 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

Situación actual en España (*)

	2010	2011	2012	2013	2014
Centrales de tránsito	200	197	196	191	181
Centrales internacionales	21	19	21	20	15
Centrales locales (tándem)	816	878	742	728	590
Concentradores	17772	18849	17920	17842	17573

	2015	2016			
Centrales de tránsito	187	140			
Centrales internacionales	9	6			
Centrales locales (tándem)	581	555			
Concentradores	17327	16751			

(*) Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.
Informe Anual 2017. CNMCDATA

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)

Bucle de abonado

- “Bucles de abonado” actuales
 - 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,...
 - Cable Modem (Redes HFC – Hybrid Fiber Coax)
 - Redes tradicionalmente empleadas para la distribución de TV por cable
 - Fibra óptica (alternativa más extendida en la actualidad)
 - Llevar la fibra hasta el domicilio (FTTH)
- Otros bucles de abonado
 - Digitalización completa: Red Digital de Servicios Integrados (RDSI)
 - Soluciones inalámbricas (WiMax, incluso WiFi)
 - No se consideran las redes de comunicaciones móviles (3G - UMTS, 4G – LTE, 5G)
- Repercusión acceso de banda ancha a través de redes móviles (Tema 4)

Bucle de abonado: situación en España^(*)

- Accesos instalados en España
 - Par de cobre (xDSL/FTTN) ~0.8%
 - Fibra (FTTH) ~84%
 - HFC ~15% (principalmente en municipios pequeños)
- Incremento de la presencia de la banda ancha (39 líneas por 100 habitantes)
 - xDSL ~0,6%
 - HFC ~7%
 - FTTH ~89%
- Operadores
 - Movistar: 32%
 - Vodafone: 14%
 - MASORANGE: 38%
 - Digi: 10%

Contenidos

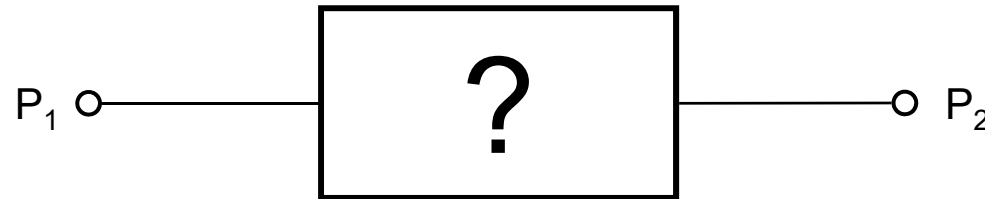
- Introducción a las redes de comunicaciones
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación

¿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 0/1)
 - 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

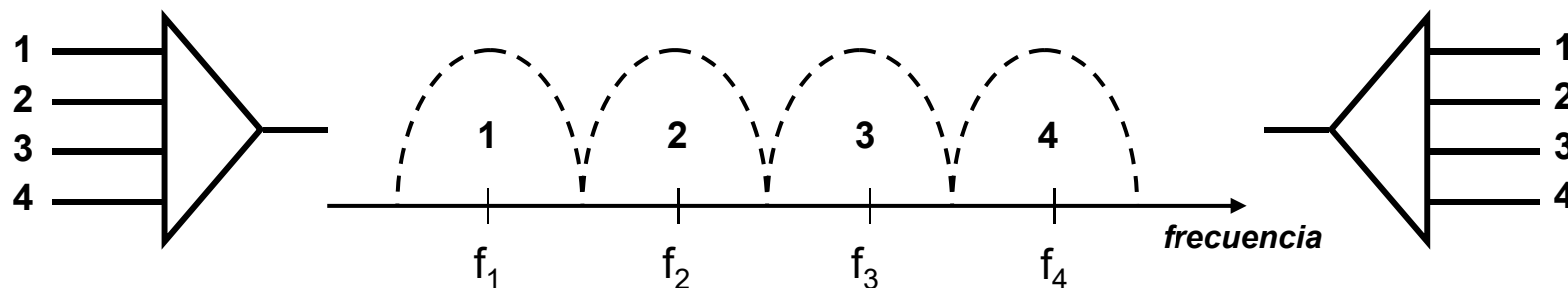
- Introducción a las redes de comunicaciones
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- **Multiplexación**
- Técnicas de conmutación
- Introducción a las arquitecturas de protocolos

¿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

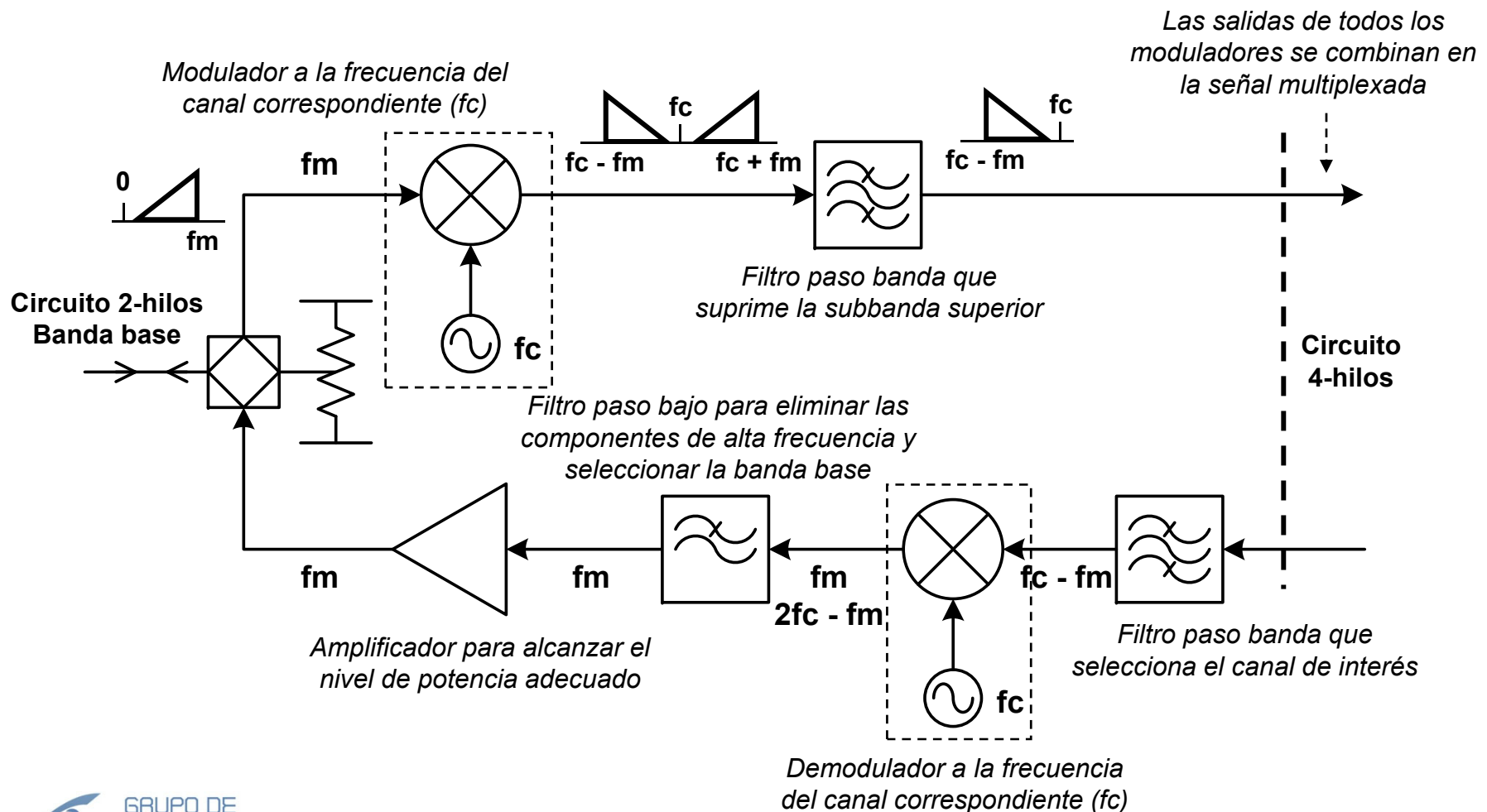
Multiplexación FDM

- 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



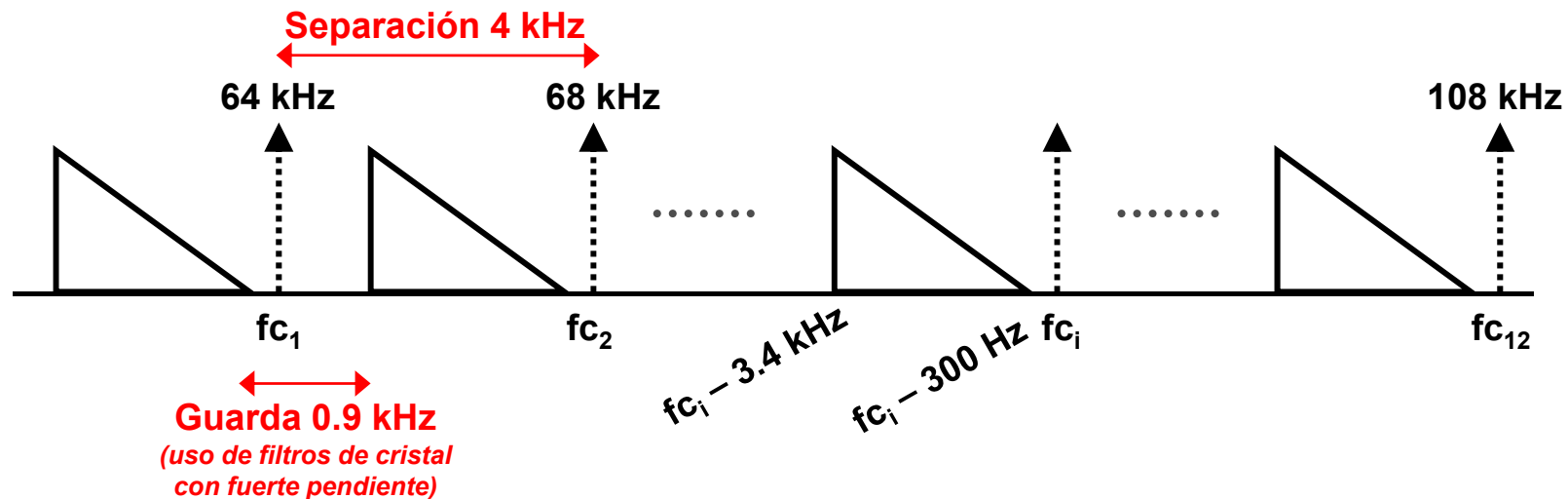
Multiplexación FDM

- Esquema de un DEMUX (demultiplexor/multiplexor) FDM en telefonía



Multiplexación FDM

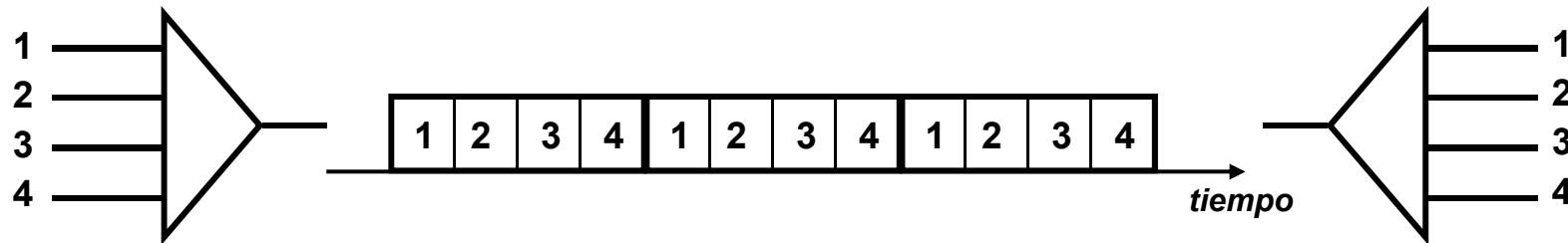
- Recomendación de la ITU-T (antiguamente CCITT) para la agrupación de canales telefónicos
 - Grupo primario (o grupo básico): agrupación de 12 canales (de 4 kHz cada uno) entre 60 y 108 kHz (ancho de banda, *bandwidth* o BW, de 48 kHz)



- 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

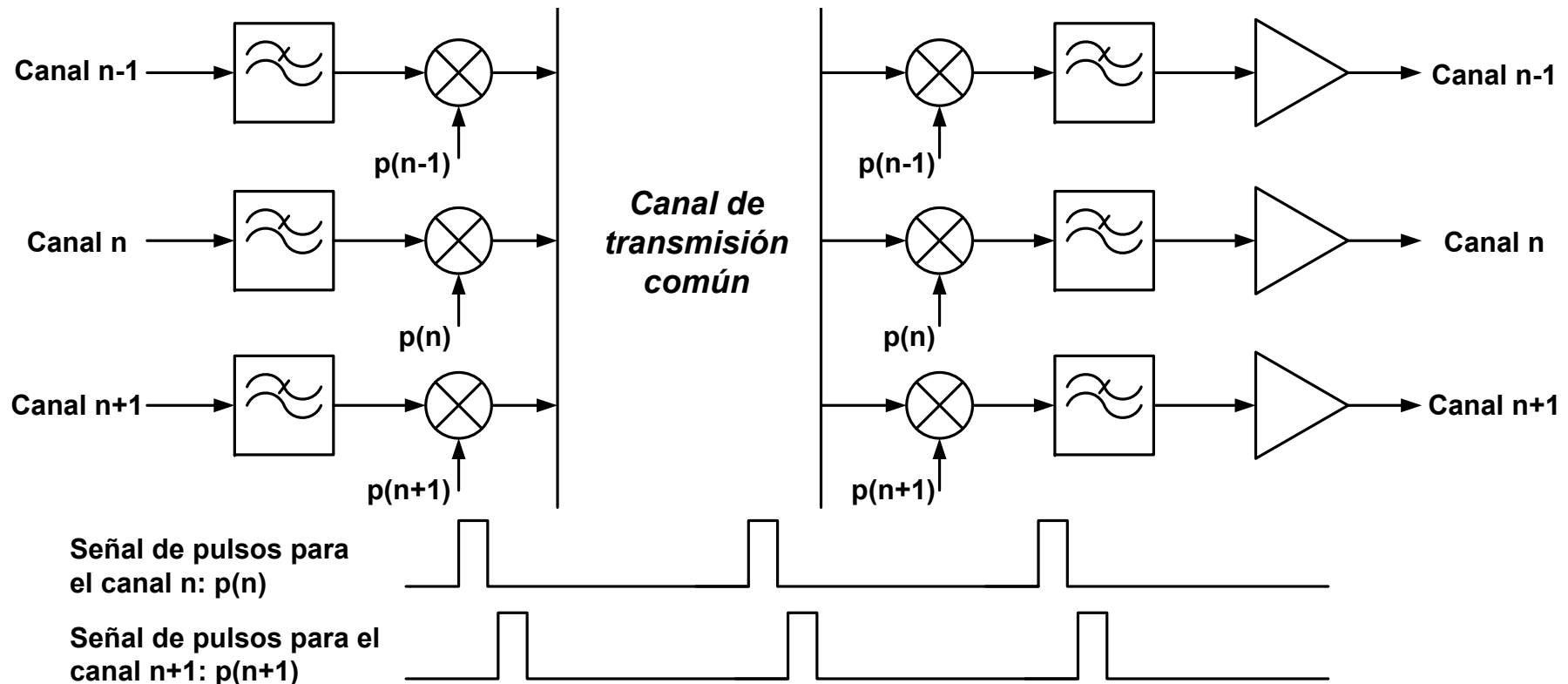
Multiplexación TDM

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



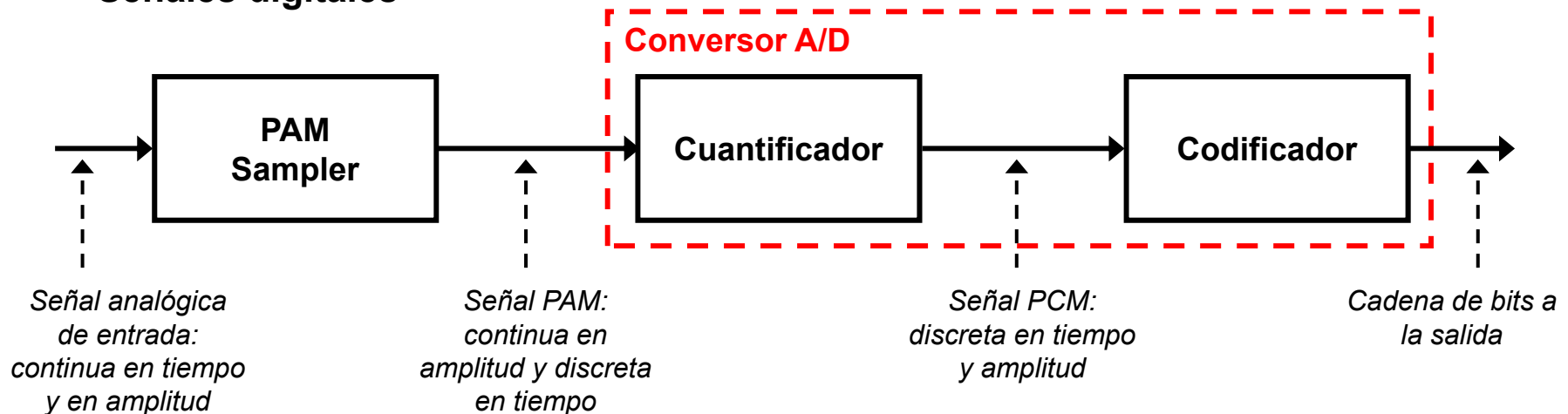
Multiplexación TDM

- 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

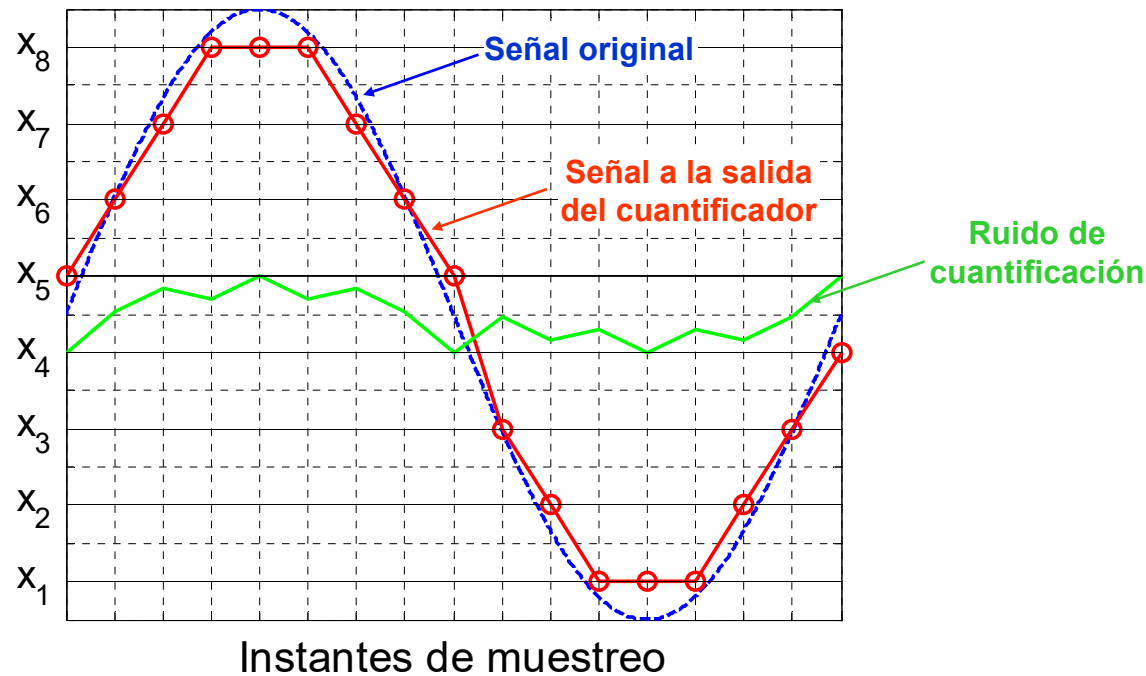
- Señal modulada en amplitud con pulsos (*Pulse Amplitude Modulation* o PAM)
 - No se emplea en sistemas reales por la atenuación y el retardo de grupo de los medios de transmisión
- La multiplexación TDM se emplea con señales PCM (Pulse Code Modulation):
Señales digitales



- **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

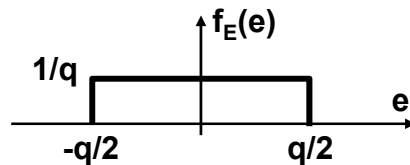
- La cuantificación es el proceso por el que una señal continua se mapea en un conjunto discreto de valores
- Aun cumpliendo el teorema de Nyquist, al discretizar la señal continua se comete un ruido de cuantificación (dependerá del número de bits empleado)



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



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

- 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 $E_{\max}$)

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

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

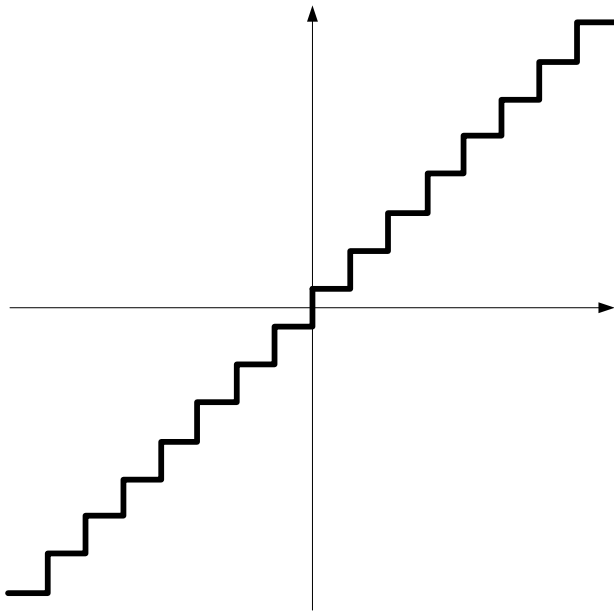
$$\text{SNR} = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_n^2} = \frac{\frac{(2E_{\max})^2}{12}}{\frac{1}{12} \left(\frac{2E_{\max}}{2^B} \right)^2} = 2^{2B}$$

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

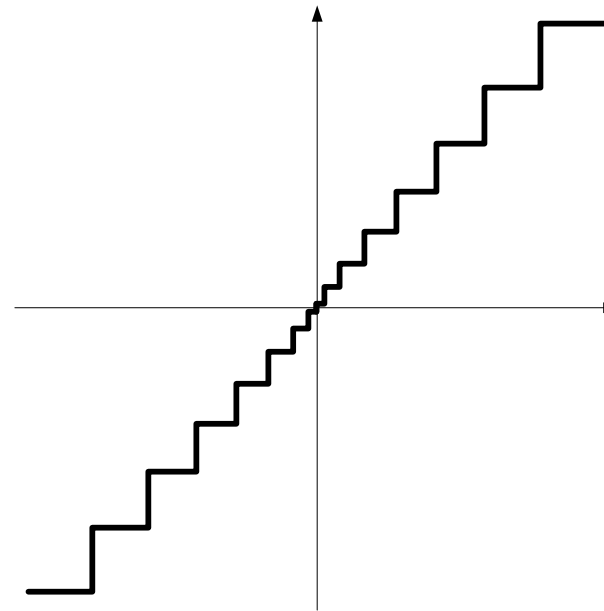
- Se mejora 6 dB por cada bit que se incorpore al cuantificador
- Hay que tener en cuenta también el nivel de sobrecarga (señal que se ‘sale’ del rango del cuantificador)

Ruido de cuantificación

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



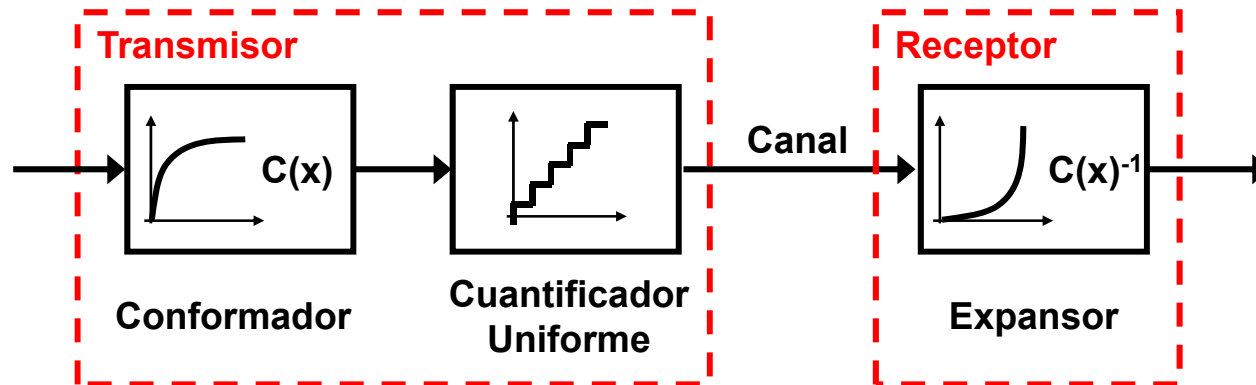
Cuantificación Uniforme



Cuantificación No Uniforme

Ruido de cuantificación

- Implementación real de cuantificación no uniforme en telefonía

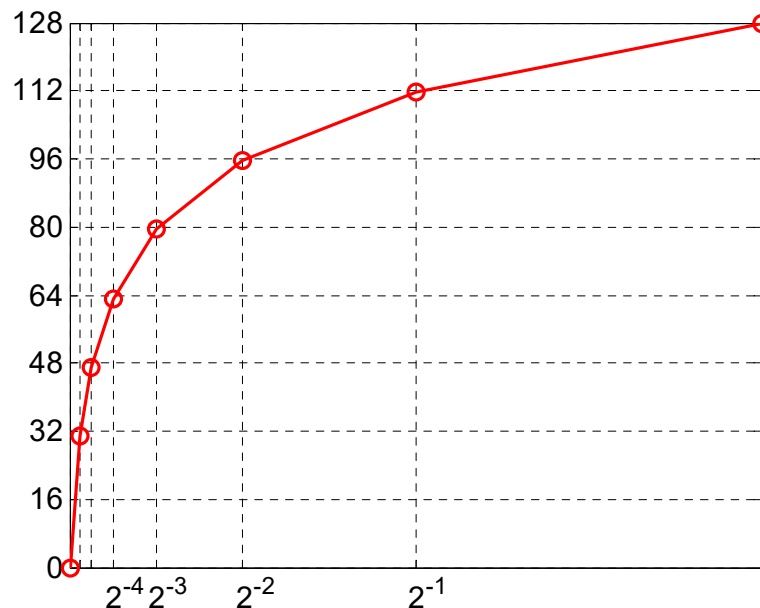


- Si se conoce la pdf de la señal de entrada es posible ‘encontrar’ el conformador óptimo
- Aun sin conocer la pdf (señal de voz) un conformador logarítmico permite obtener una SNR constante
- Para sistemas de voz se emplean dos leyes de compresión
 - En Europa: Ley A
 - En Estados Unidos y Japón: Ley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

Ruido de cuantificación

Ley A (A = 87.56)

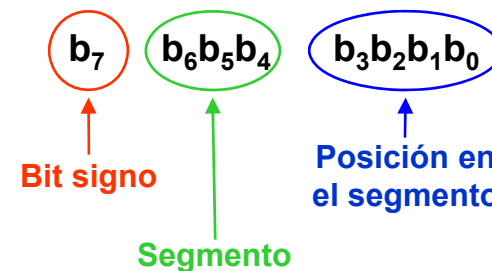
$$y = \begin{cases} \frac{1 + \ln(A \cdot |x|)}{1 + \ln A} \operatorname{sgn}(x) & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \\ \frac{A|x|}{1 + \ln A} \operatorname{sgn}(x) & 0 \leq |x| < \frac{1}{A} \end{cases}$$



Ley μ (μ = 255)

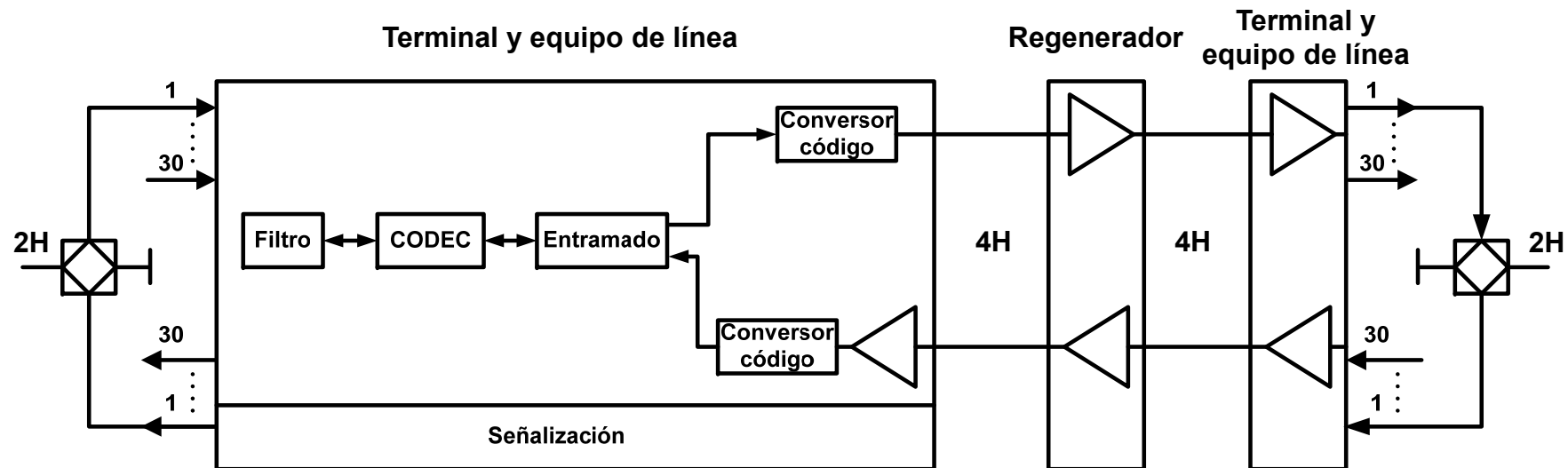
$$y = \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \operatorname{sgn}(x) \quad 0 \leq |x| \leq 1$$

- 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

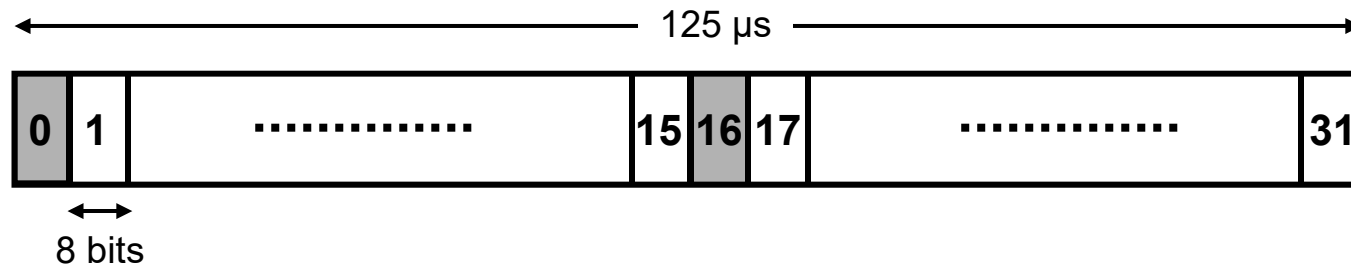
- Se combina la Modulación por Impulsos Modificados, MIC (*Pulse Code Modulation*) y TDM para transmitir varias señales telefónicas
- En la ITU se definen dos sistemas
 - G.732 (Europa), con 30 canales
 - G-733 (USA y Japón), con 24 canales
- Esquema de un sistema PCM



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

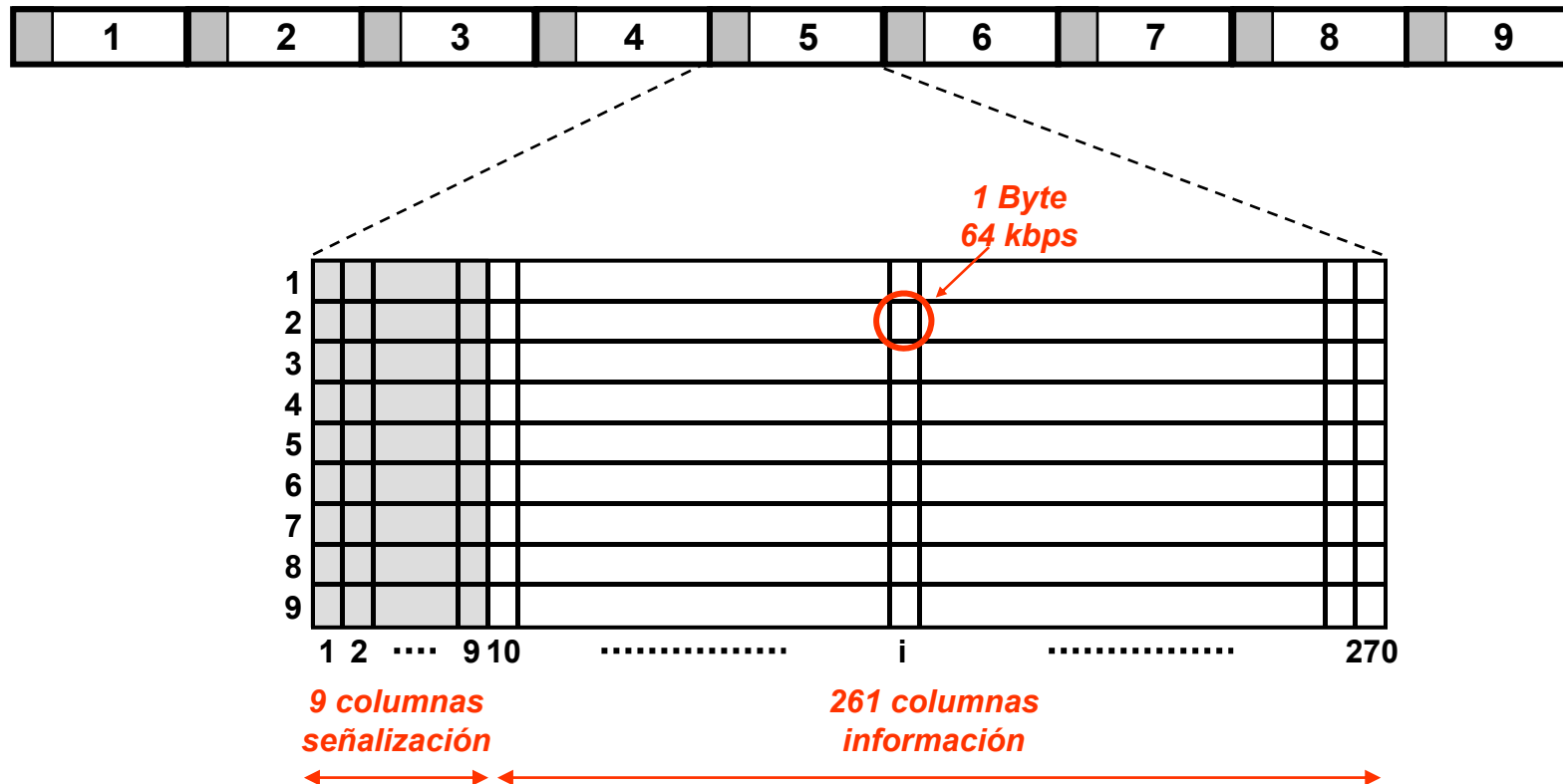
	Europa			USA		
	Circuitos	Velocidad (Mbps)	Nombre	Circuitos	Velocidad (Mbps)	Nombre
Nivel 0	1	64 kbps	-	1	64 kbps	-
Primer Nivel	30	2.048	E1	24	1.544	DS1/T1
Segundo Nivel	120	8.448	E2	96	6.312	DS2/T2
Tercer Nivel	480	34.368	E3	672	44.736	DS3/T3
Cuarto Nivel	1920	139.264	E4	4032	274.176	DS4/T4
Quinto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

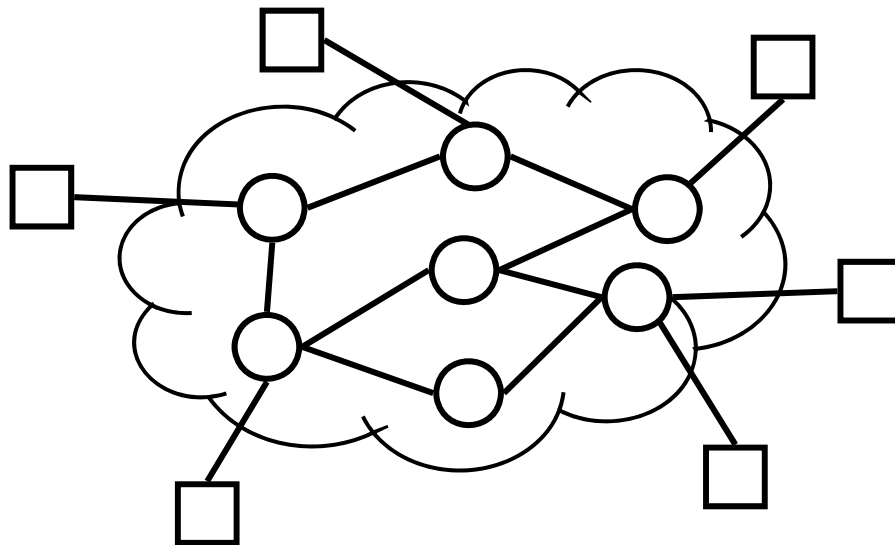


Contenidos

- Introducción a las redes de comunicaciones
- 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

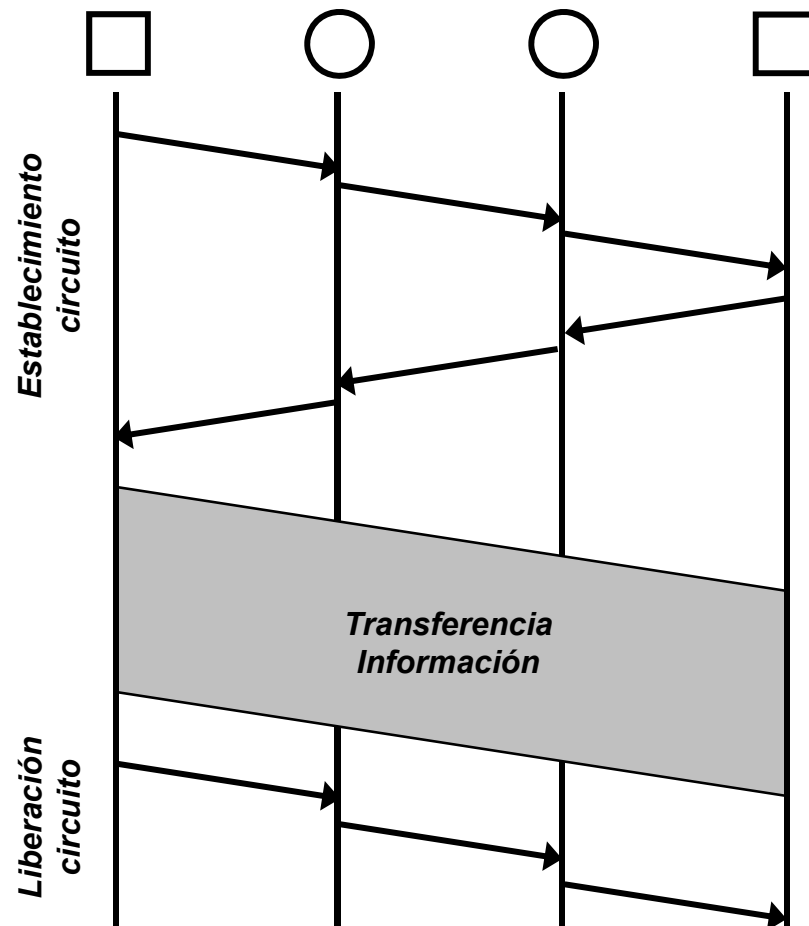


- Los dispositivos que se conectan a la red son las **estaciones**
 - Generan y reciben datos
- Los dispositivos que llevan a cabo la conmutación en la red son los **nodos**
 - Hay nodos que no están conectados con ninguna estación, y sólo realizan funciones de conmutación

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 procesado 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)

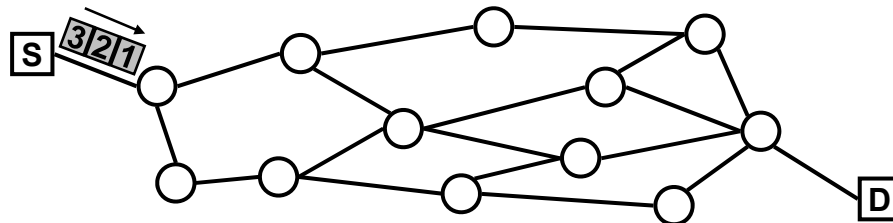
Conmutación de paquetes

- 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

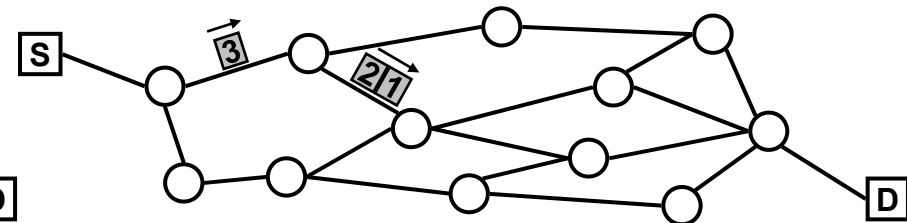
Conmutación de paquetes

- 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)

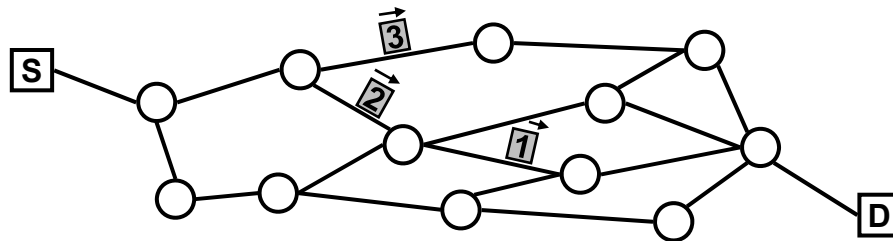
Conmutación de paquetes



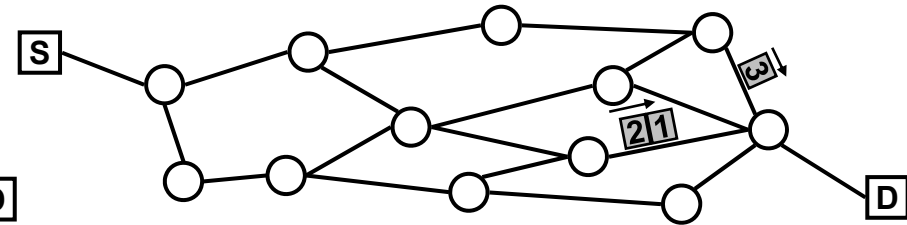
(1)



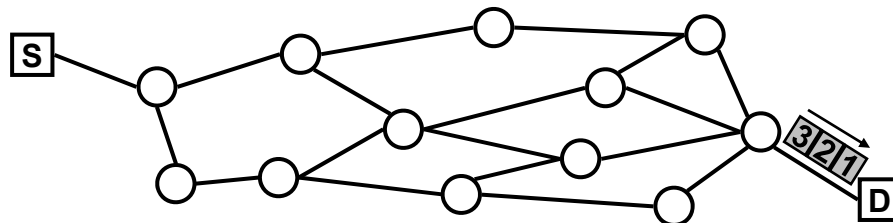
(2)



(3)



(4)

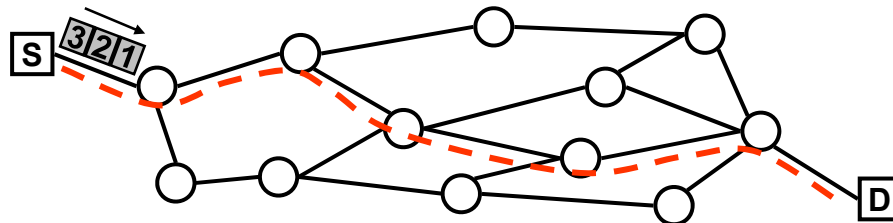


(5)

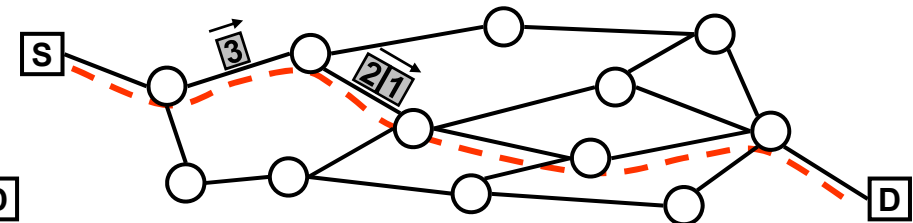
■ Modo datagrama

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

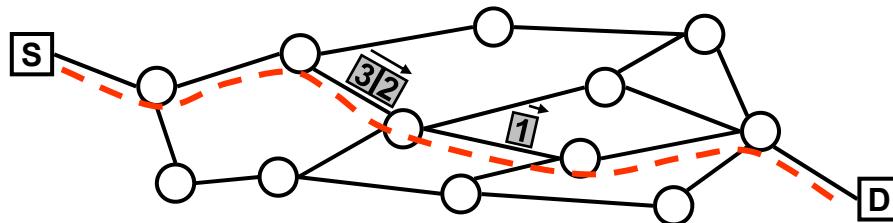
Conmutación de paquetes



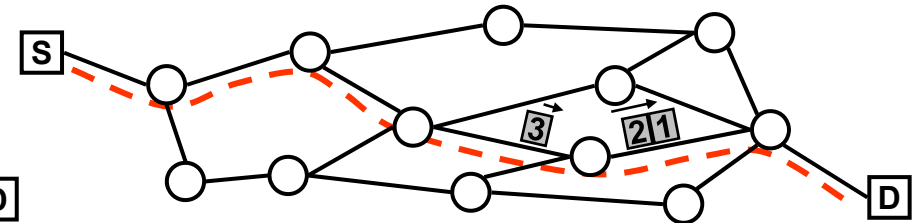
(1)



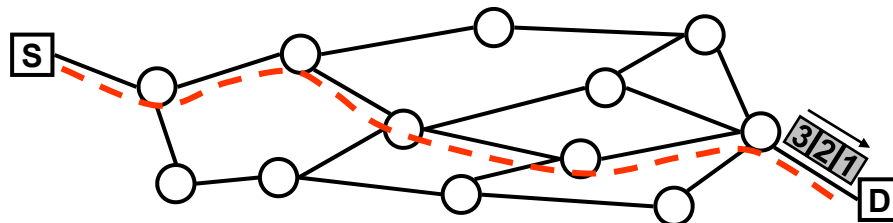
(2)



(3)



(4)

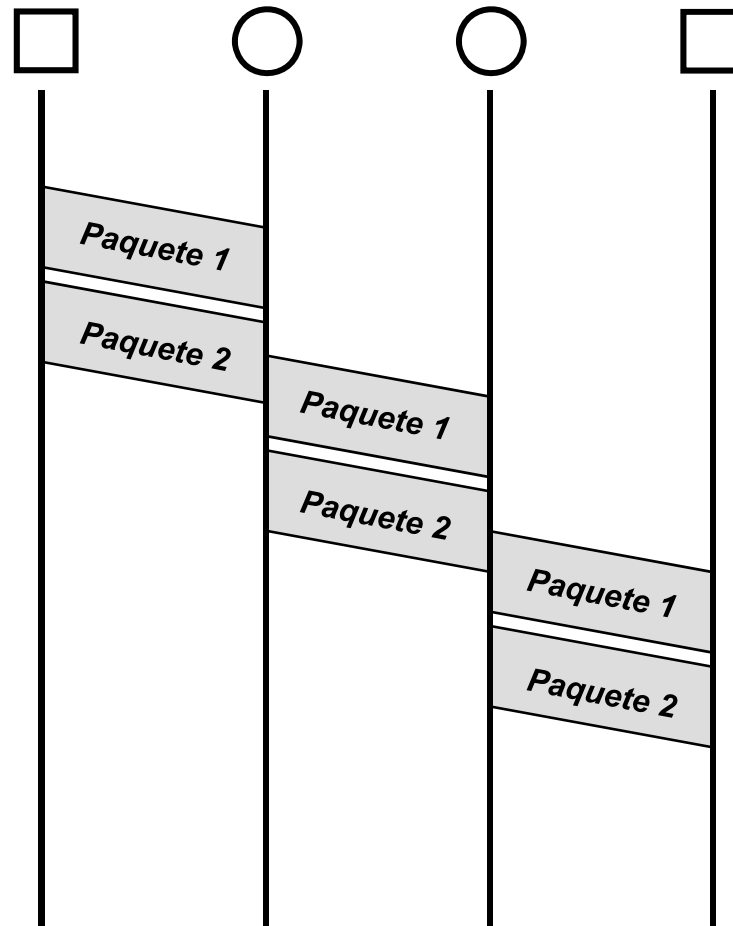


(5)

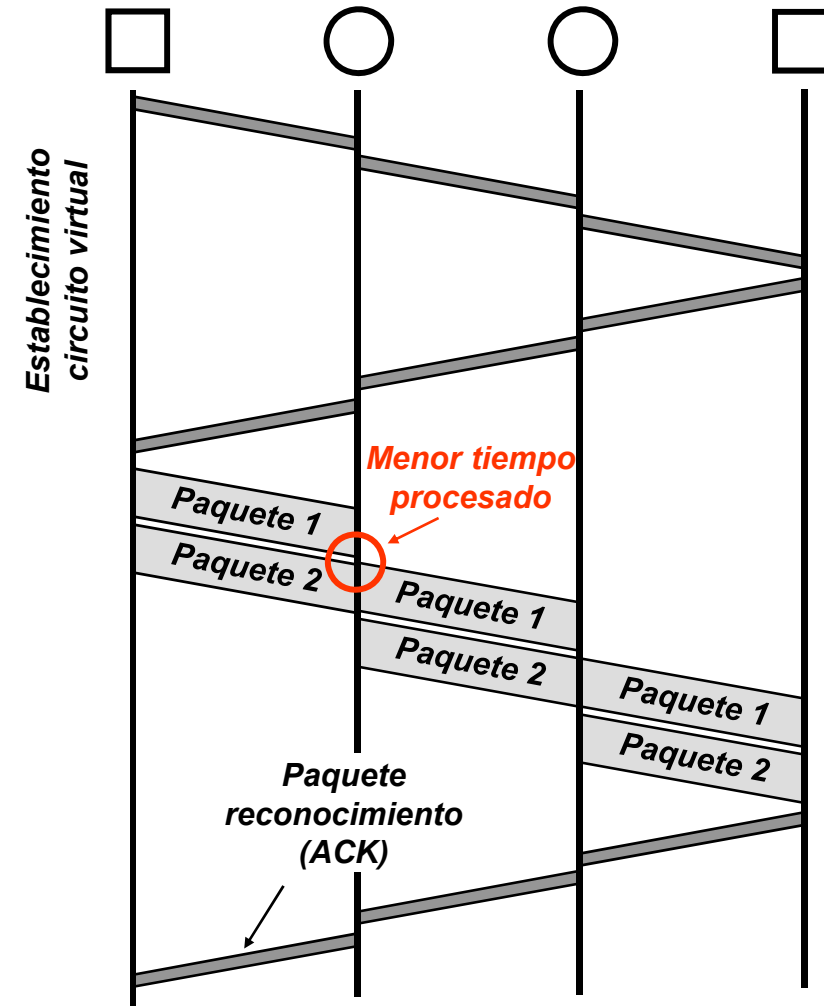
■ Modo circuito virtual

- Los paquetes utilizan la misma ruta para alcanzar el destino

Conmutación de paquetes



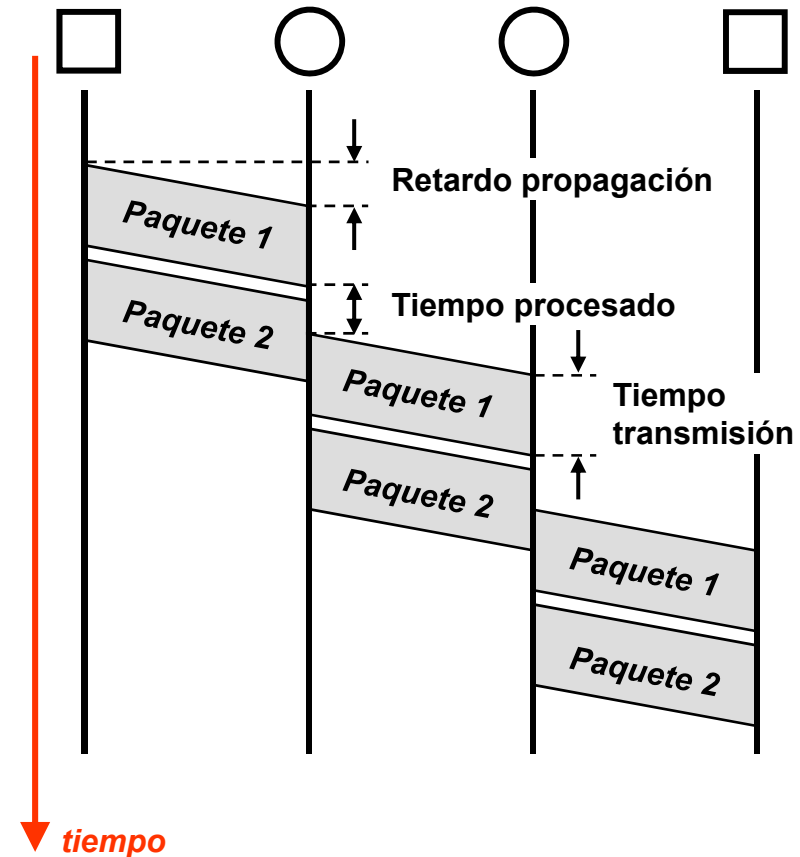
Modo datagrama



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



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