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

Contenidos

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

¿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, que se transmiten por un medio
- Comunicaciones eléctricas → TELECOMUNICACIONES
  - Telégrafo: Wheatstone y Morse en 1837
  - Teléfono: Bell en 1876 **[Meucci, 1849]**
  - Aparición de nuevos servicios: fax, telefonía móvil, datos,…
  - En la actualidad existen más de 1270 M de líneas telefónicas fijas(*) y más de 5300 M de teléfonos móviles(**)

(*) CIA World Fact 2008
(**) CIA World Fact 2010

¿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

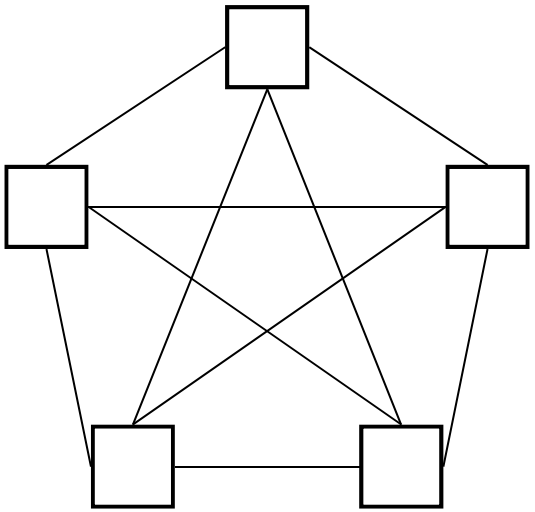
- ITU (International Telecommunication Union) – www.itu.int
  - ITU-T: ITU, sector de telecomunicaciones
  - ITU-R: ITU, sector de radiocomunicaciones
- ISO: International Standards Organization – www.iso.org
- ETSI: European Telecommunications Standard Institute – www.etsi.org
- ANSI: American National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

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:

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

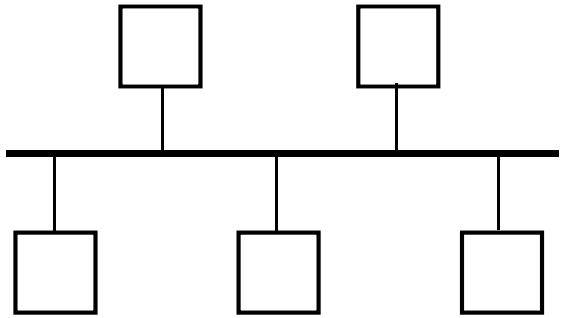
  - Para N alto → crecimiento exponencial

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

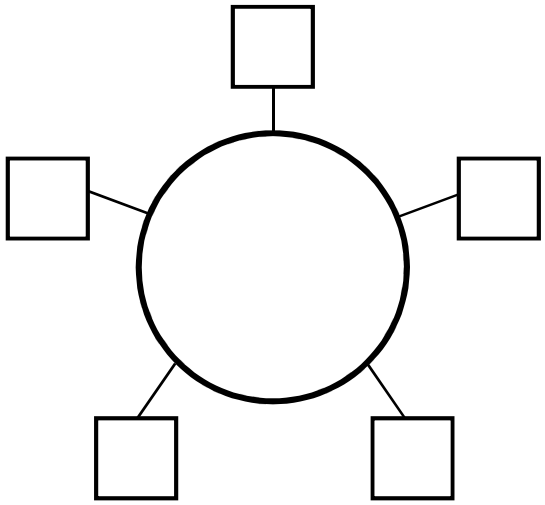
  - Poco económico
  - Sólo viable con redes pequeñas

Topologías de red

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



Red en Bus

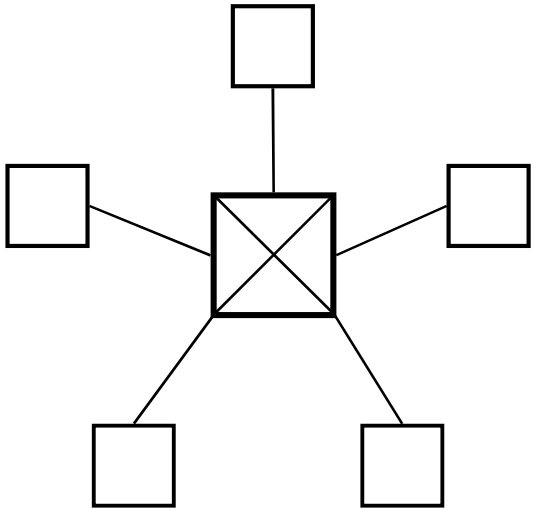


Red en Anillo

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

Topologías de red

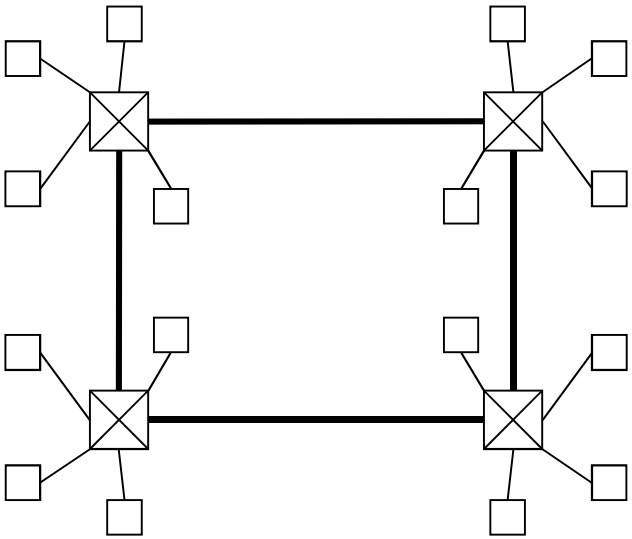
- Red Telefónica
  - Requerimiento → Comunicaciones simultáneas y continuas entre dos nodos cualesquiera
  - Solución → Conexión entre cada punto con una central de conmutación



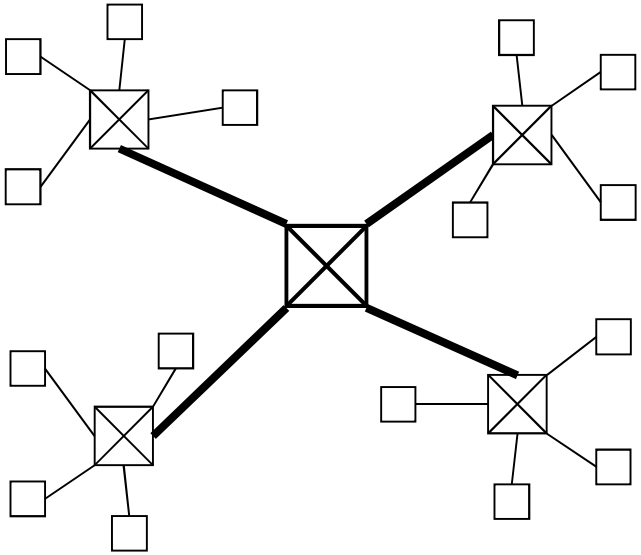
- **Red en Estrella**
  - E = N → Crecimiento lineal
  - Central cara, pero solución rentable, al disminuir el # de líneas
  - Solución escalable

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



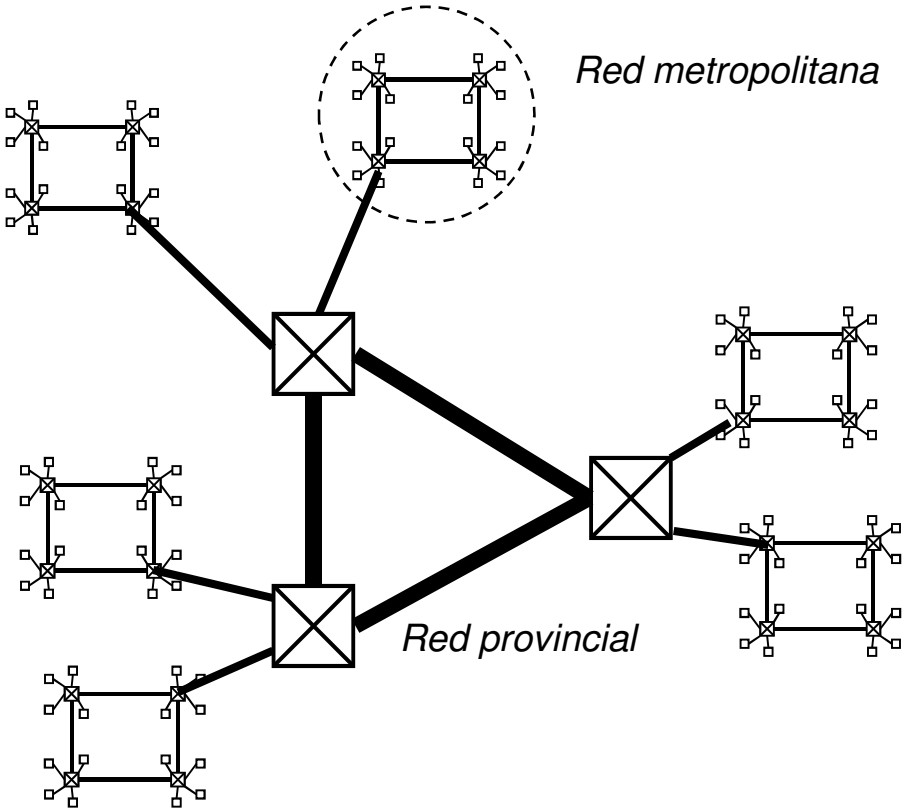
Conexión directa



*Conexión mediante **Central Tandem***

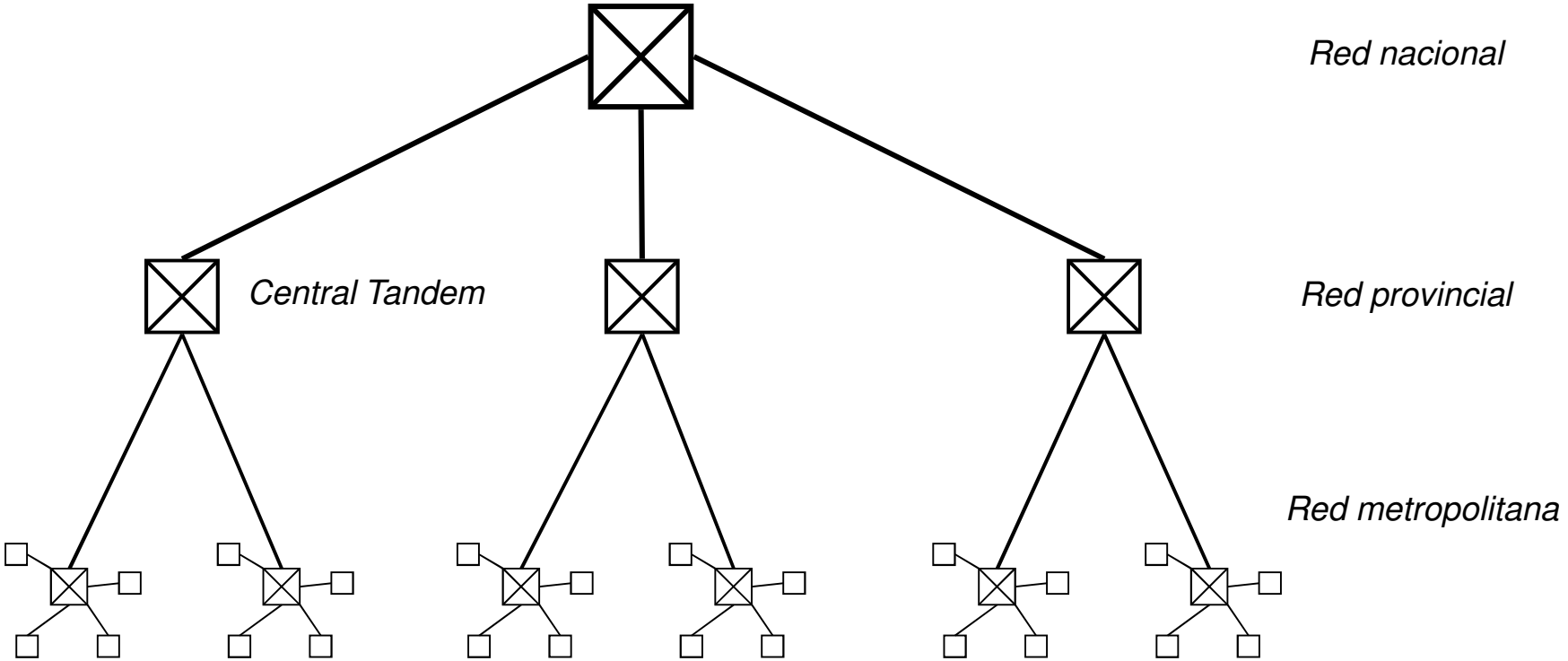
Estructura de la red telefónica

- Extensión geográfica → Establecimiento de una jerarquía en la red



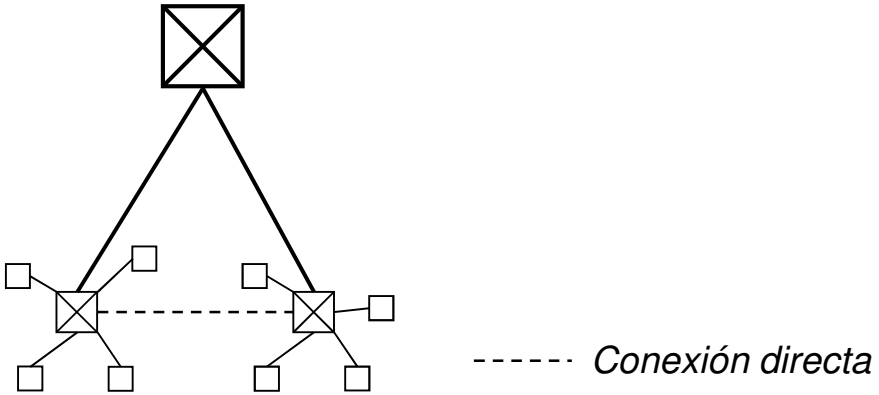
Estructura de la red telefónica

- Representación jerárquica de la red en estrella

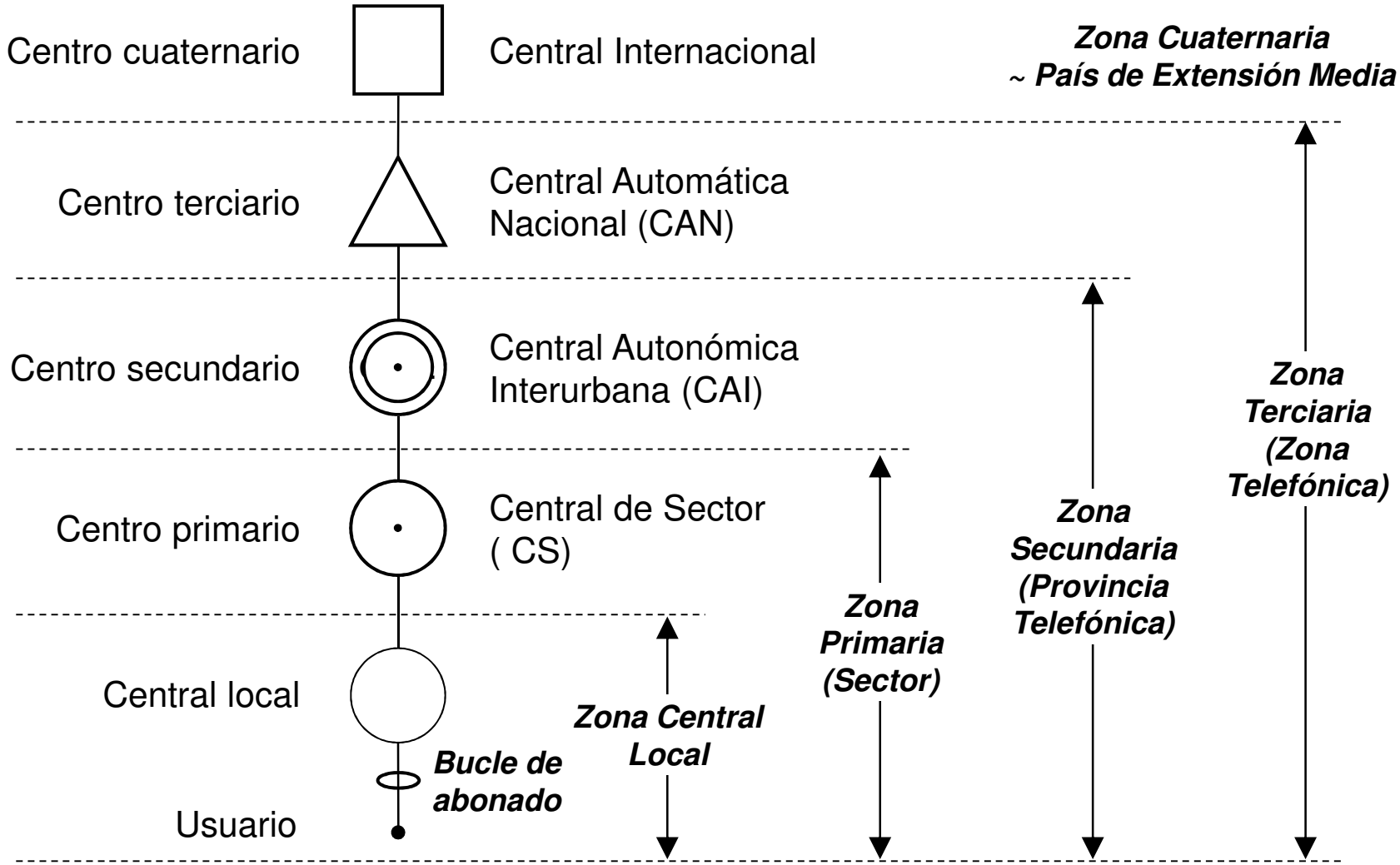


Estructura de la red telefónica

- 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



Estructura de la red telefónica

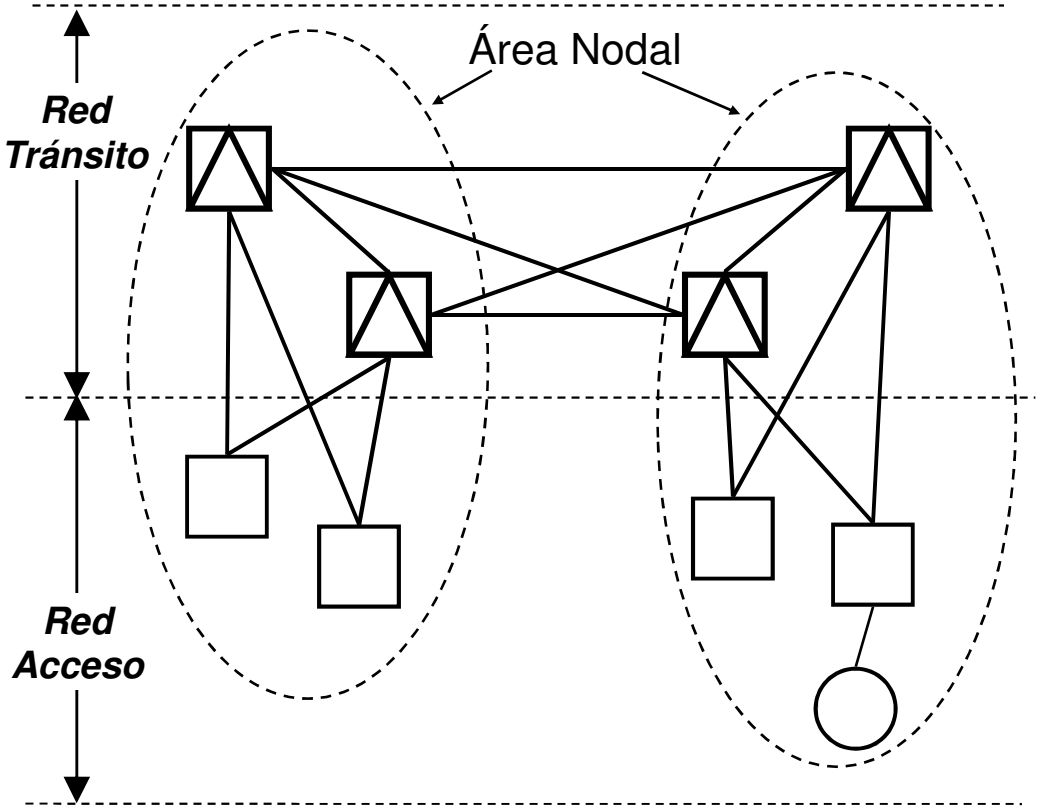
- Ruta y sección final
  - Enlaces entre las centrales que forman la estructura jerárquica de la red
  - La unión de las diferentes secciones finales conforma la ruta final
  - Dos abonados siempre pueden conectarse a través de la ruta final
  - No siempre supone la alternativa más económica
- Red complementaria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

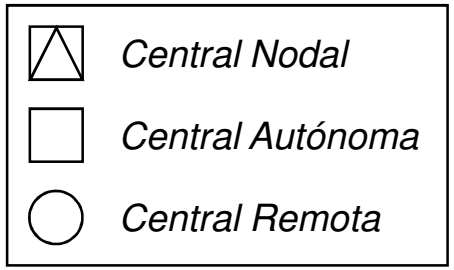
- Ventajas claras de la tecnología digital
- Digitalización de la red de tránsito nacional
  - Desaparecen niveles jerárquicos
  - La **Central Nodal** sustituye a las centrales secundarias y terciarias
  - Se establecen **Áreas Nodales**
- La red de acceso se digitaliza de manera paulatina
  - En la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

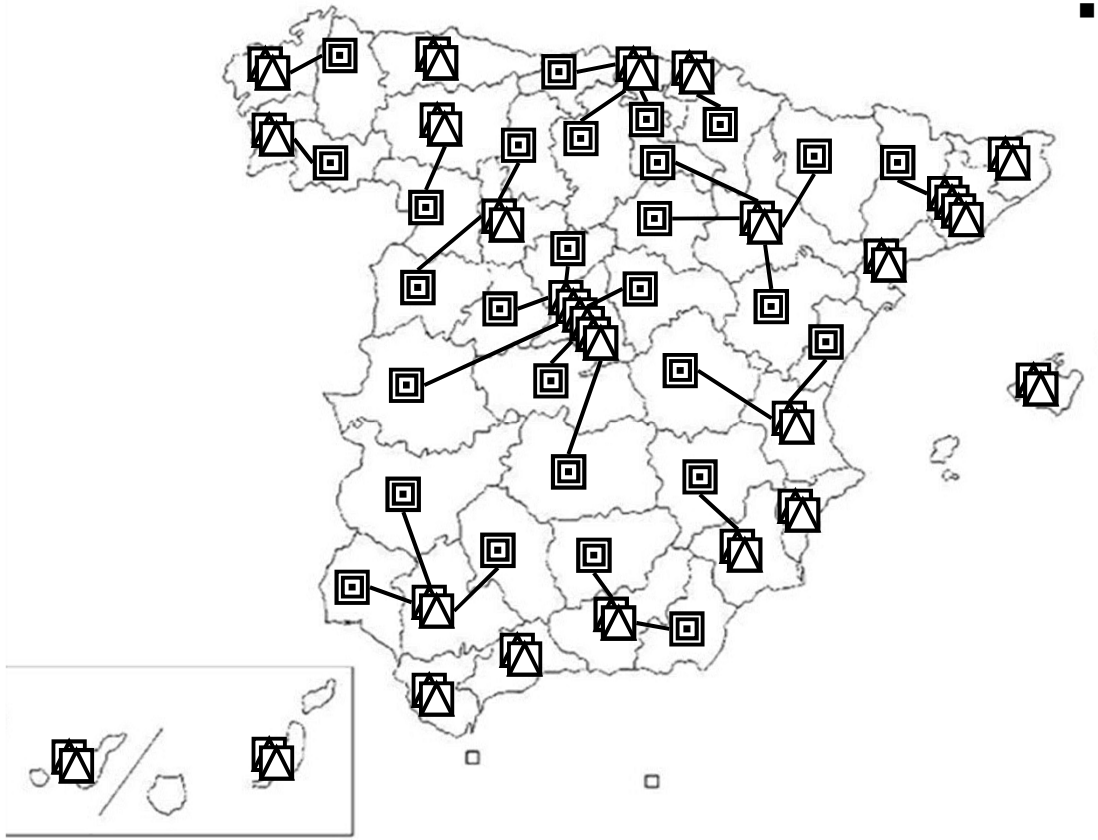
- Se definen dos niveles: Tránsito (Centrales Nodales) y Acceso (Centrales autónomas y remotas)



- 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

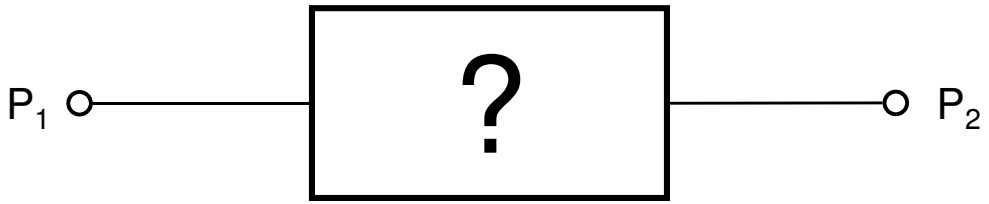
- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación
- Introducción a las arquitecturas de protocolos

¿Qué es la transmisión?

- La señal utiliza “caminos” 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 telefónico 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



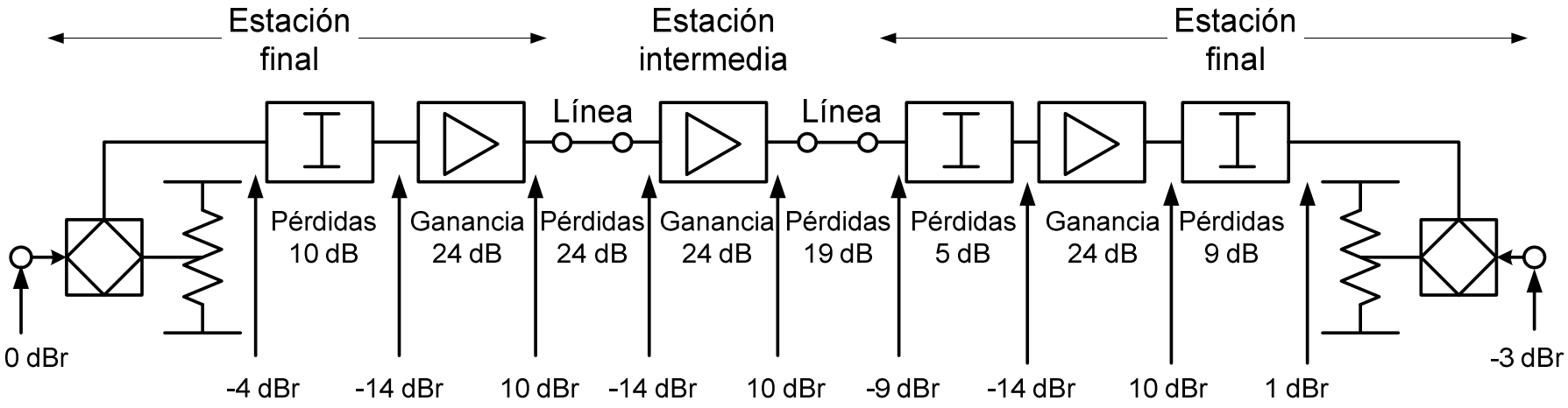
- Se definen la ganancia (G) y la atenuación (L) del sistema (en escala logarítmica – decibelios o dB)

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

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

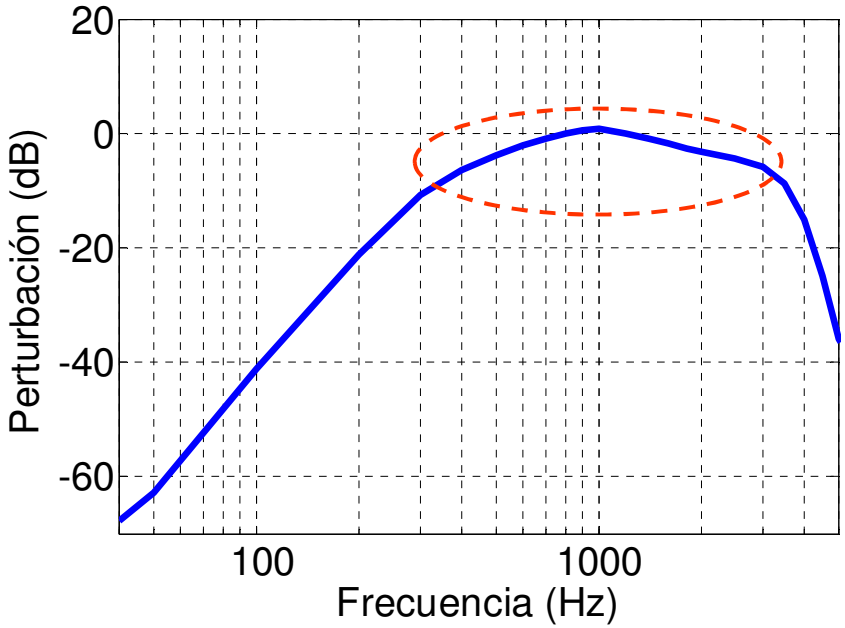
Niveles de potencia

- Evolución del nivel de potencia de señal en un sistema de transmisión
- Uso de una referencia → Punto de nivel relativo cero
- El nivel relativo frente a dicho punto se expresa en dBr
- Nivel de señal en función del punto de referencia
  - dBm0 = dBm – dBr → dBm = dBm0 + dBr



Niveles de potencia

- Ponderación sofométrica
  - La respuesta del oído humano no es plana
  - Se introducen factores de corrección en las medidas
  - Para señales telefónicas nivel promedio de 2.5 dB de ponderación
  - Canal Telefónico (300 – 3400 Hz) → dBm0 = dBm0p + 2.5 dB

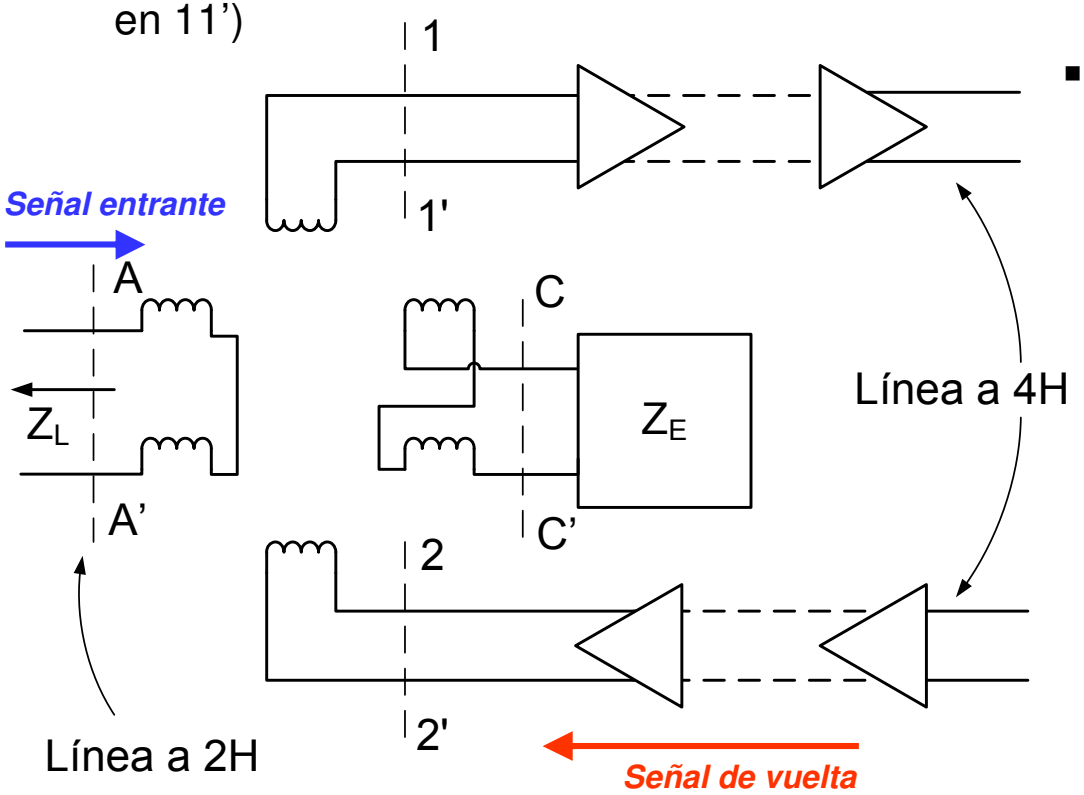


Circuitos a 2 y 4 hilos

- Línea a 4 hilos
  - Canales independientes para cada sentido de transmisión
  - Si es necesario emplear circuitos físicos → 2 pares (4 hilos)
- Línea a 2 hilos
  - Se emplea el mismo circuito físico (2 conductores) para transmitir información en ambos sentidos
  - Es la que habitualmente se emplea en el bucle de abonado
- Uso de amplificadores para compensar la atenuación de las líneas
  - Amplificadores unidireccionales → Es necesario emplear caminos de "ida y vuelta"
- La línea de 4 hilos debe "acoplarse" con el bucle de abonado → Uso del transformador (o bobina) híbrido

Circuitos a 2 y 4 hilos

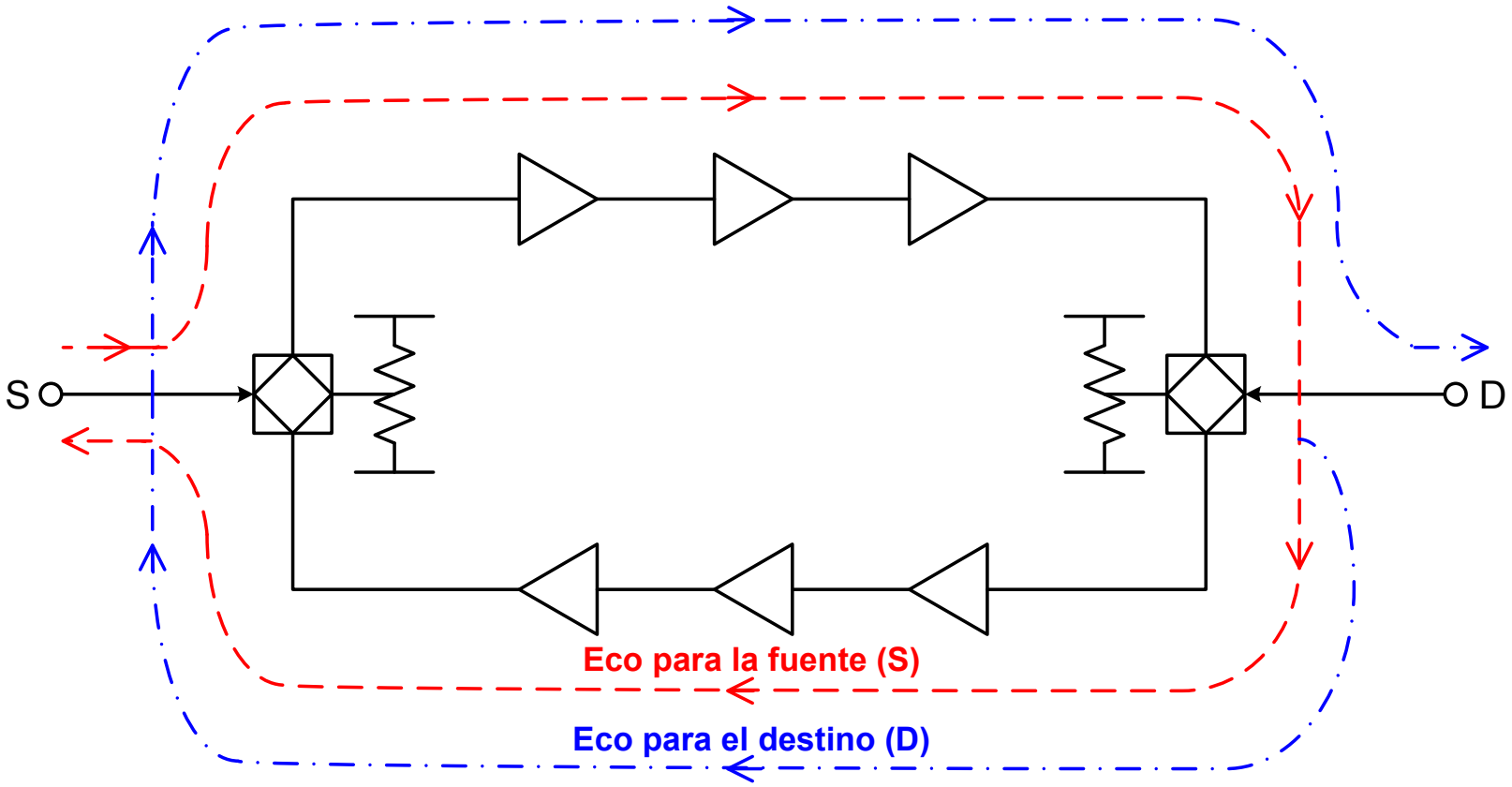
- La señal que llega por 22' se reparte entre Z_L y Z_E
  - Se transfiere al circuito de 2 hilos con 3 dB de atenuación
  - No se transfiere nada a la rama superior (corrientes iguales y de signo contrario en 11')



- Señal entrante por AA'
  - Se reparte por igual (-3 dB) entre 11' y 22'
  - La señal por 22' no puede progresar
    - Impedancia infinita del amplificador
  - La señal en 11' genera corrientes opuestas, por lo que no se disipa potencia en Z_E

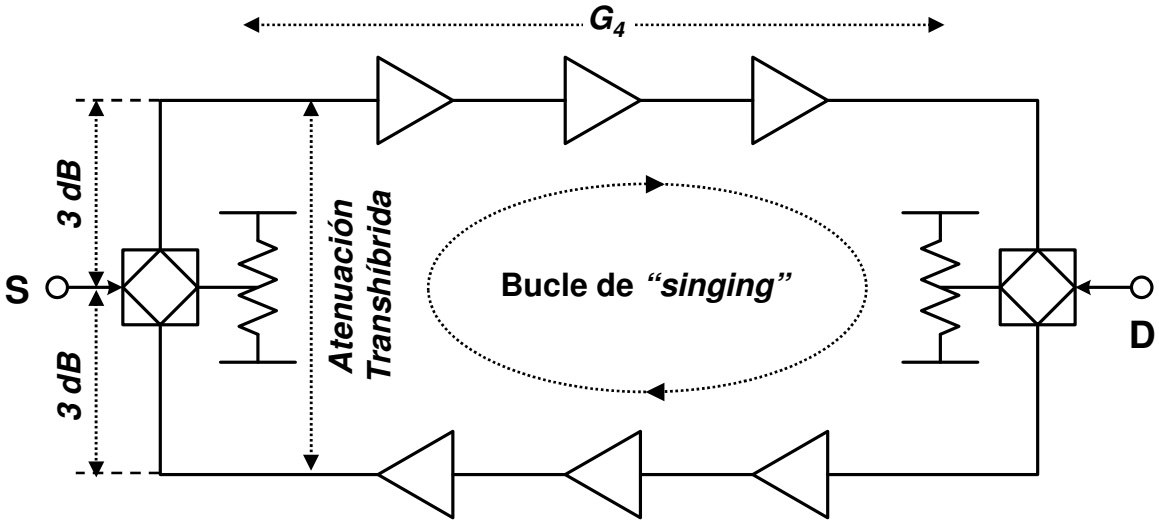
Ecos

- En sistemas reales se producen desequilibrios → Parte de la señal enviada en un sentido retorna por el opuesto: ECOS



Ecos

- Atenuación entre S y D: $(L_{SD})_{dB} = 6 - G_4$
- $(\text{Atenuación transhíbrida})_{dB} = 6 + B$



$$(B)_{dB} = 20\log\left|\frac{Z_E + Z_L}{Z_E - Z_L}\right|$$

- Si $Z_L = Z_E$ (adaptación perfecta)
  - B = ∞ dB
- Si $Z_L = 0$ (cortocircuito)
  - B = 0 dB
- Si $Z_L = \infty$ (circuito abierto)
  - B = 0 dB

- Atenuación total del eco para la fuente (L_{ES})
  - $(L_{ES})_{dB} = 3 - G_4 + (6 + B) + 3 - G_4 = 2\,L_{SD} + B$
- Atenuación total del eco para el destino (L_{ED})
  - $(L_{ED})_{dB} = (3 + B) - G_4 + (6 + B) - G_4 + 3 = 2\,L_{SD} + 2B$

Ecos

- El eco es más molesto si…
  - Su magnitud es mayor
  - Su retardo es mayor
- Además, si las pérdidas del circuito son bajas y las ganancias elevadas, podrían aparecen problemas de **estabilidad**
  - Las pérdida del bucle de "*singing*": $(L_S)_{dB} = 2\ (B + 6 - G_4) = 2\ (B + L_{SD})$
  - Condición de estabilidad: $L_S > 0 \rightarrow B > - L_{SD} \rightarrow B > G_{SD}$
  - Punto de *"singing"*: $G_{SD} = B$
- Margen de estabilidad (M)
  - Ganancia adicional máxima que es posible añadir en cada dirección sin causar inestabilidad: $L_S - 2M = 0 \rightarrow M = L_{SD} + B$
  - En la práctica, un margen de 3 dB suele ser suficiente

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…

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

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

Contenidos

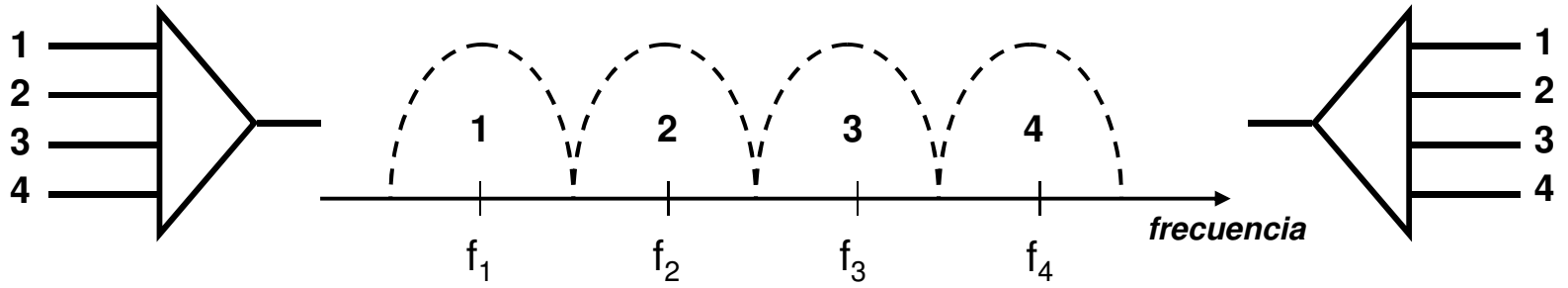
- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación
- Introducción a las arquitecturas de protocolos

¿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

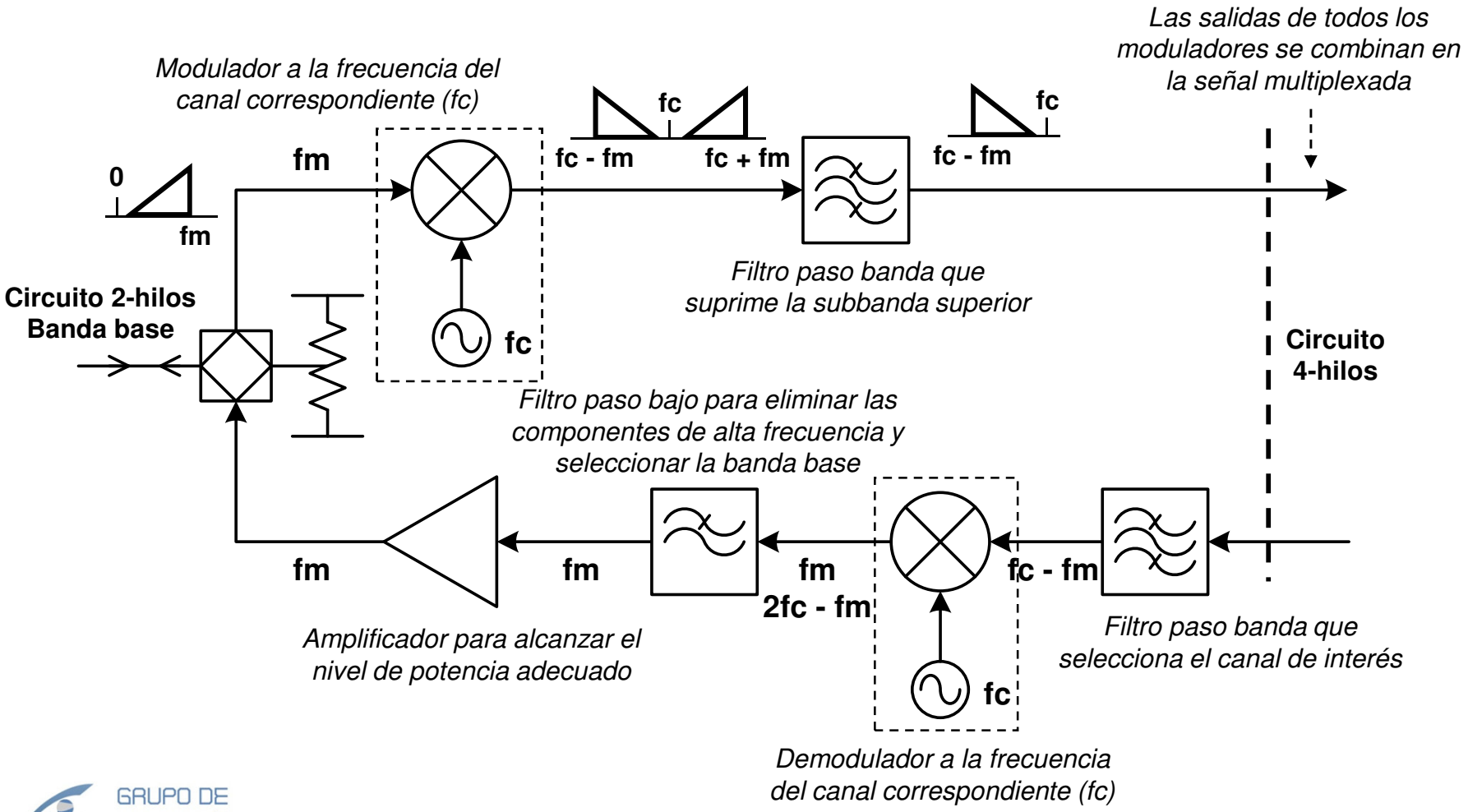
Multiplexación FDM

- 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



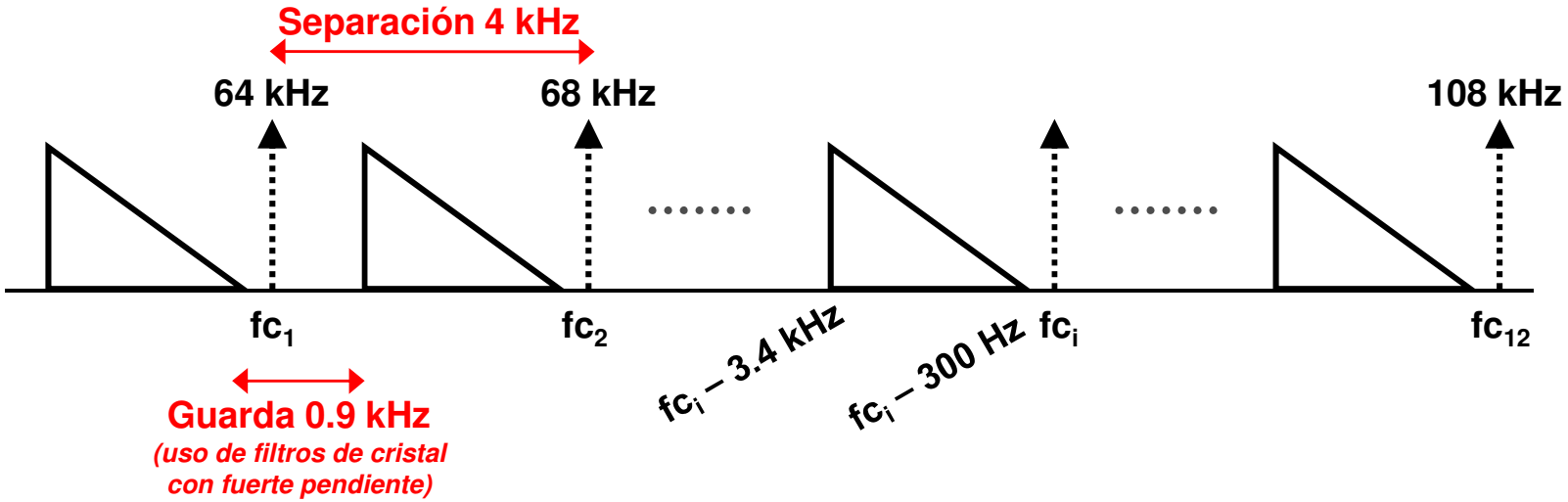
Multiplexación FDM

- Esquema de un DEMUX (demultiplexor/multiplexor) FDM



Multiplexación FDM

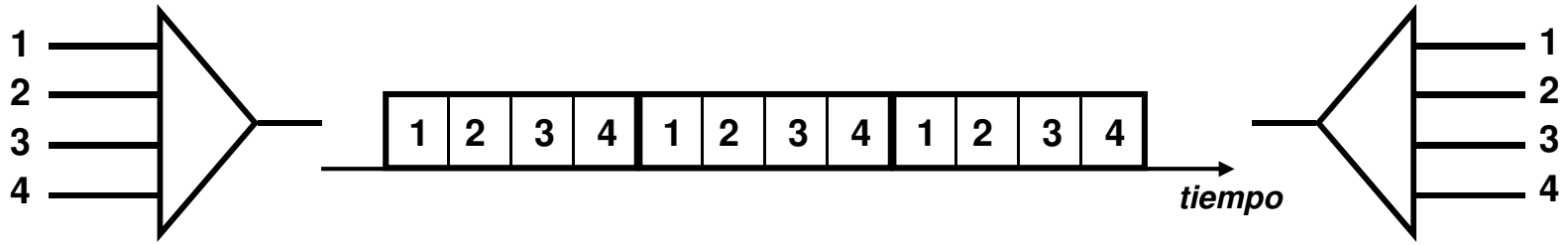
- Recomendación de la ITU-T (antiguamente CCITT) para la agrupación de canales telefónicos
  - Grupo primario (o grupo básico): agrupación de 12 canales (de 4 kHz cada uno) entre 60 y 108 kHz (ancho de banda, *bandwith* o BW, de 48 kHz)



  - 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

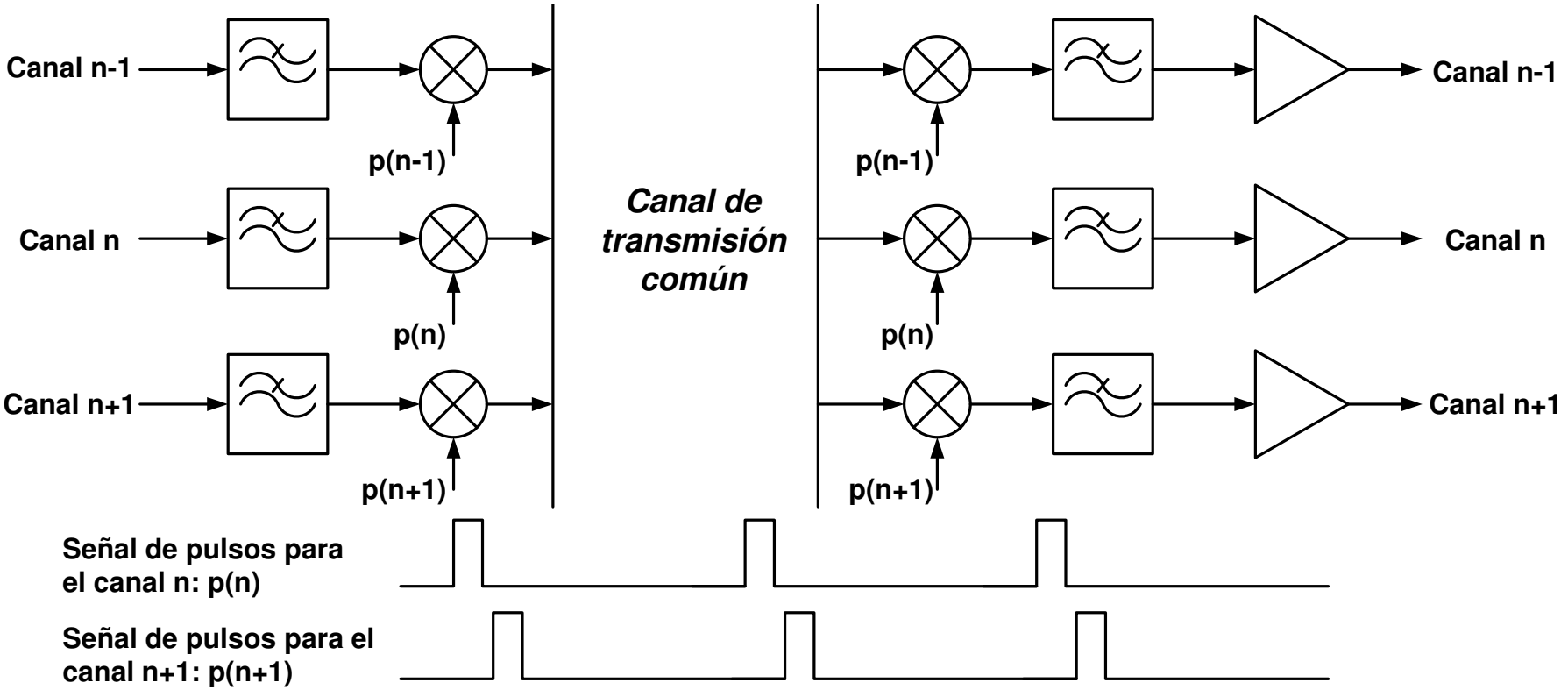
Multiplexación TDM

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



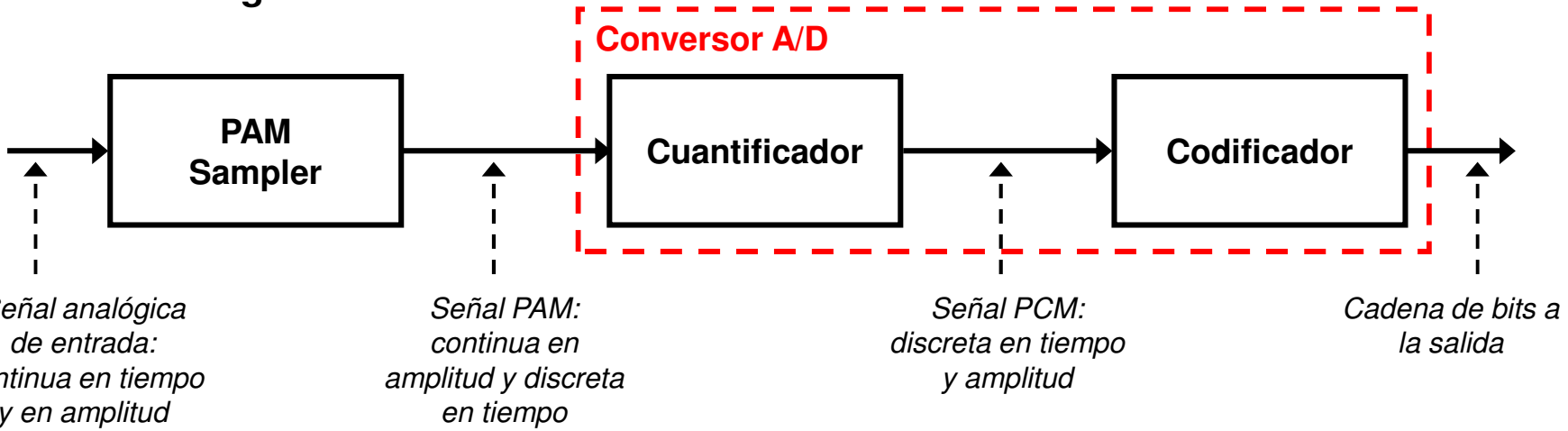
Multiplexación TDM

- 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

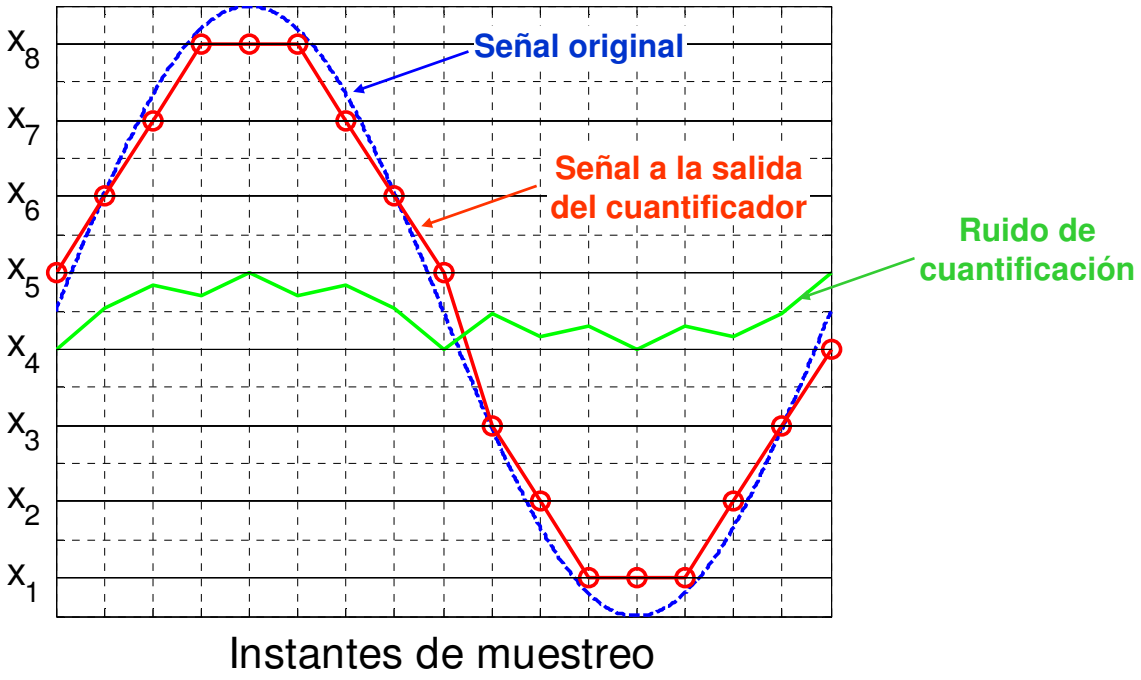
- Señal modulada en amplitud con pulsos (*Pulse Amplitude Modulation* o PAM)
  - No se emplea en sistemas reales por la atenuación y el retardo de grupo de los medios de transmisión
- La multiplexación TDM se emplea con señales PCM (Pulse Code Modulation): **Señales digitales**



- **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

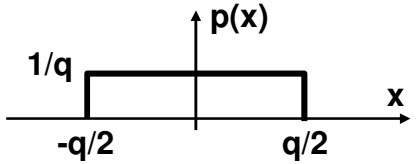
Ruido de cuantificación

- 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



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

  - 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

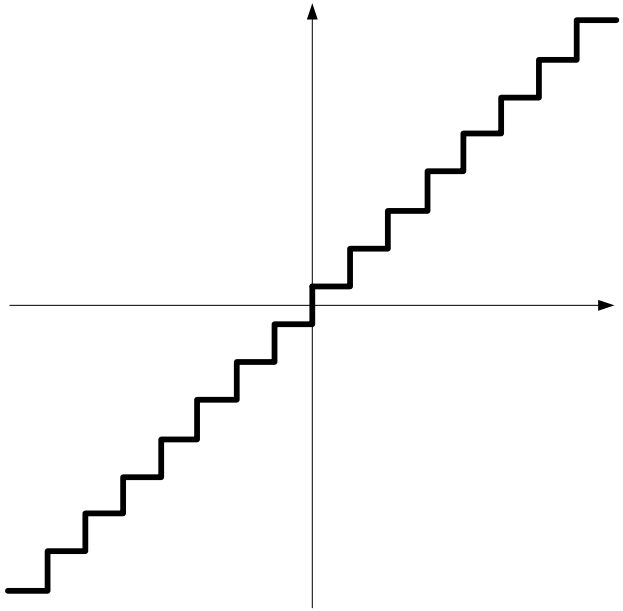
$$SNR = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_n^2} = \frac{\frac{(2E_{max})^2}{12}}{\frac{1}{12}\left(\frac{2E_{max}}{2^B}\right)^2} = 2^{2B}$$

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

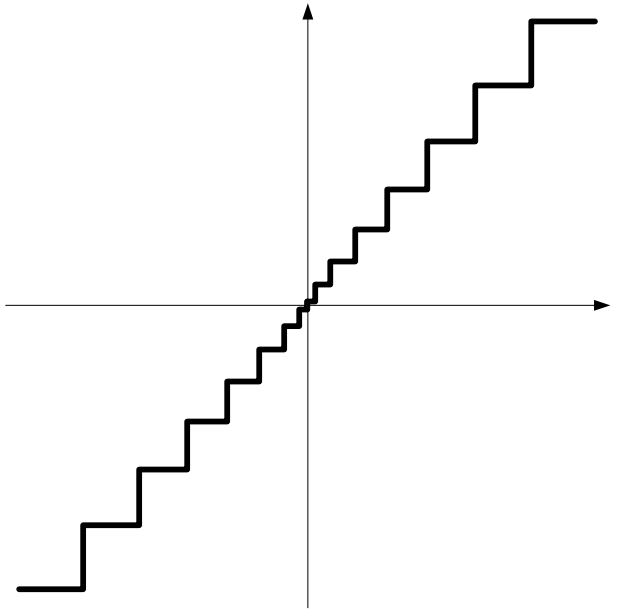
  - Se mejora 6 dB por cada bit que se incorpore al cuantificador
  - Hay que tener en cuenta también el nivel de sobrecarga (señal que se 'sale' del rango del cuantificador)

Ruido de cuantificación

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



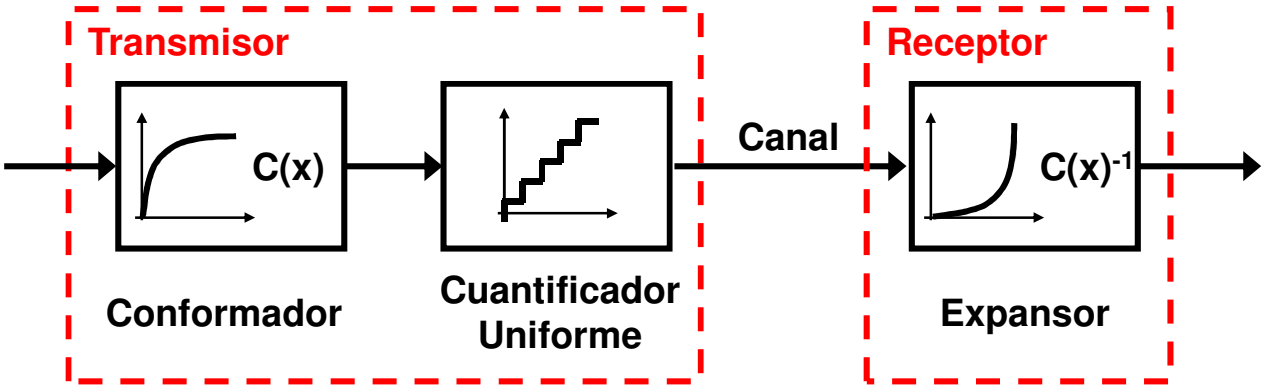
Cuantificación Uniforme



Cuantificación No Uniforme

Ruido de cuantificación

- Implementación real de cuantificación no uniforme

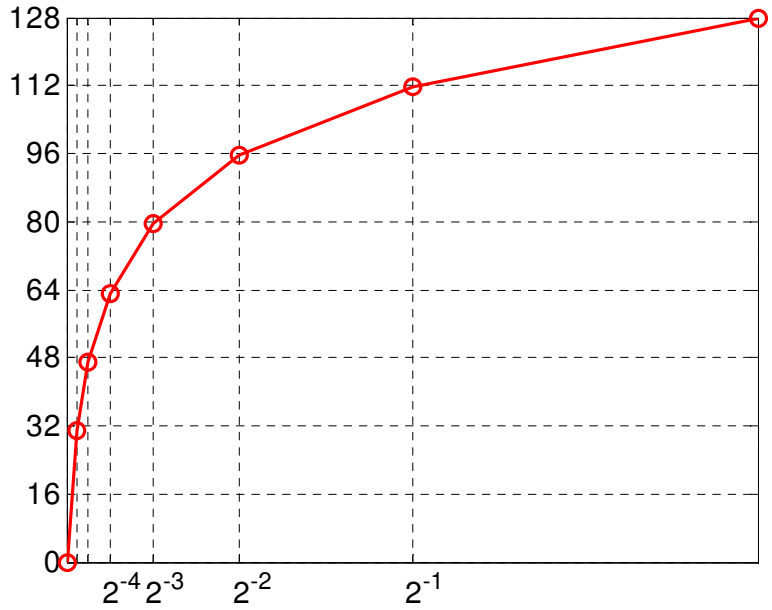


- Si se conoce la pdf de la señal de entrada es posible 'encontrar' el conformador óptimo
- Aun sin conocer la pdf (señal de voz) un conformador logarítmico permite obtener una SNR constante
- Para sistemas de voz se emplean dos leyes de compresión
  - En Europa: Ley A
  - En Estados Unidos y Japón: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

Ruido de cuantificación

Ley A (A = 87.56)

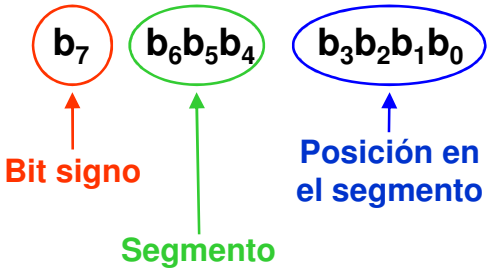
$$y = \begin{cases} \dfrac{1+\ln(A\cdot|x|)}{1+\ln A}\,\mathrm{sgn}(x) & \dfrac{1}{A} \le |x| \le 1 \\ \dfrac{A|x|}{1+\ln A}\,\mathrm{sgn}(x) & 0 \le |x| < \dfrac{1}{A} \end{cases}$$



Ley μ (μ = 255)

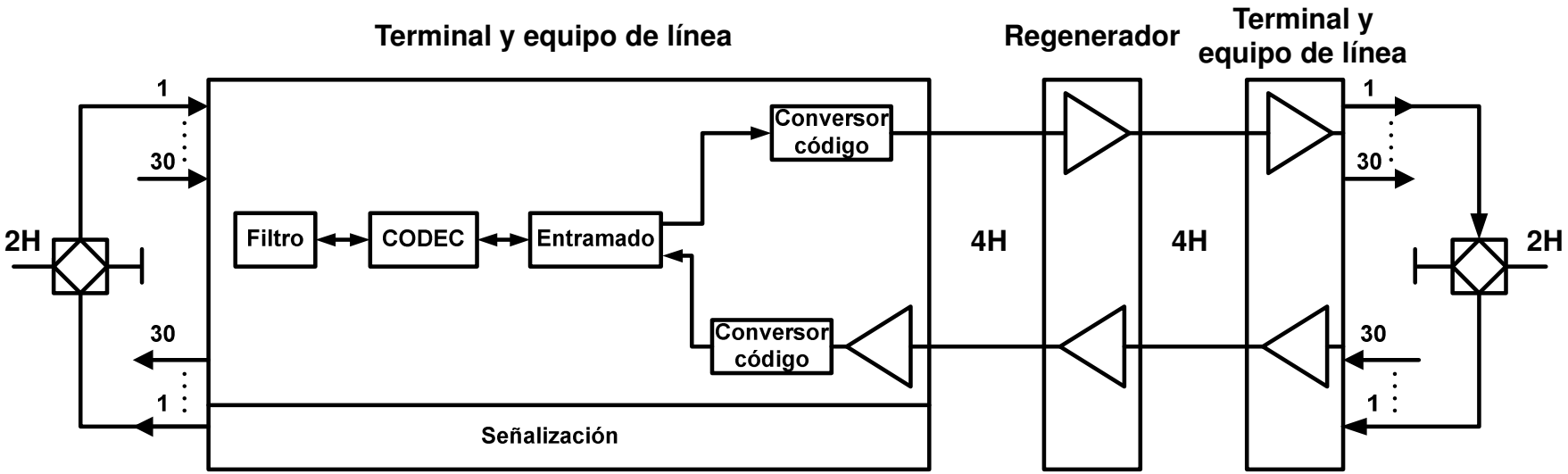
$$y = \frac{\ln(1+\mu|x|)}{\ln(1+\mu)}\,\mathrm{sgn}(x) \qquad 0 \le |x| \le 1$$

- 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)



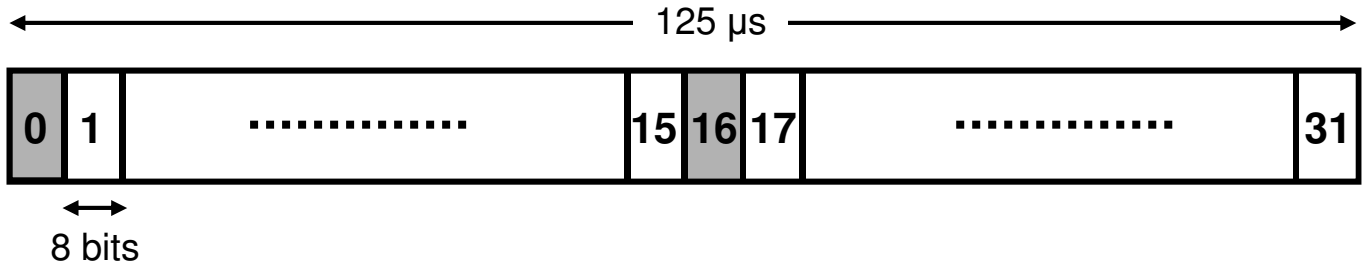
Grupo primario PCM

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



  - Velocidad por canal = 64 kbps (8 bits / 0.125 ms)
  - Velocidad total = 2.048 Mbps (8 bits · 32 ranuras / 125 µs)
- Ranura 0
  - Alineación (en las tramas impares): X0011011
  - Señalización (en las tramas pares): X1F0XXX

NOTA
F: Informa de posibles fallos
X: Reservado

- Ranura 16 → 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 bit / (16 tramas · 125 μs) = 500 bps

Jerarquía Digital Plesiócrona

- 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 Plesiócrona

- Tributarias en Europa y Estados Unidos

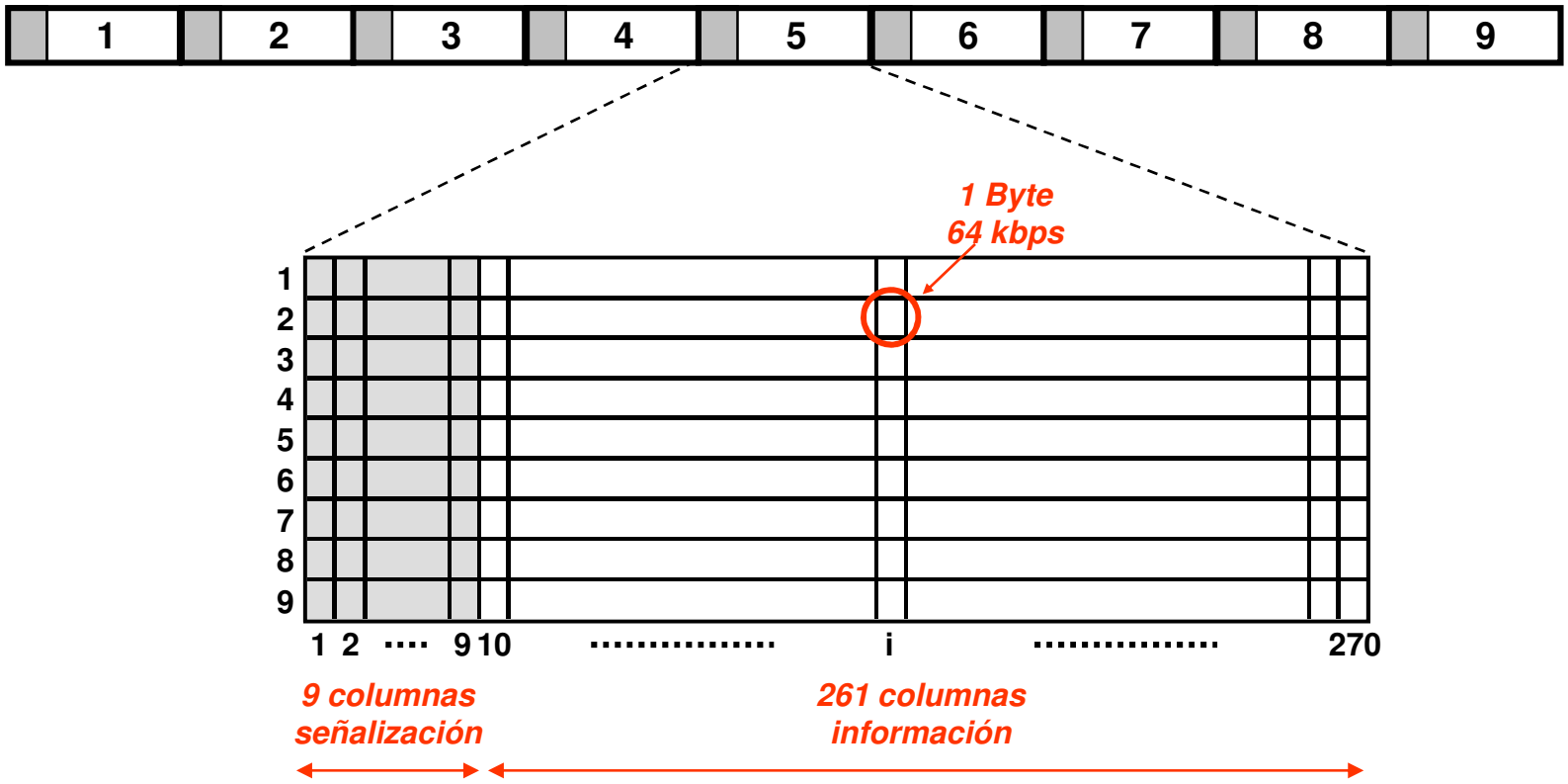
	Europa			USA		
	Circuitos	**Velocidad (Mbps)**	**Nombre**	**Circuitos**	**Velocidad (Mbps)**	**Nombre**
Nivel 0	1	64 kbps	-	1	64 kbps	-
Primer Nivel	30	2.048	E1	24	1.544	DS1/T1
Segundo Nivel	120	8.448	E2	96	6.312	DS2/T2
Tercer Nivel	480	34.368	E3	672	44.736	DS3/T3
Cuarto Nivel	1920	139.264	E4	4032	274.176	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 μs
  - Cada celda tiene 8 bits → (8 bits · 9 filas · 270 columnas / 125 μs) = 155.52 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

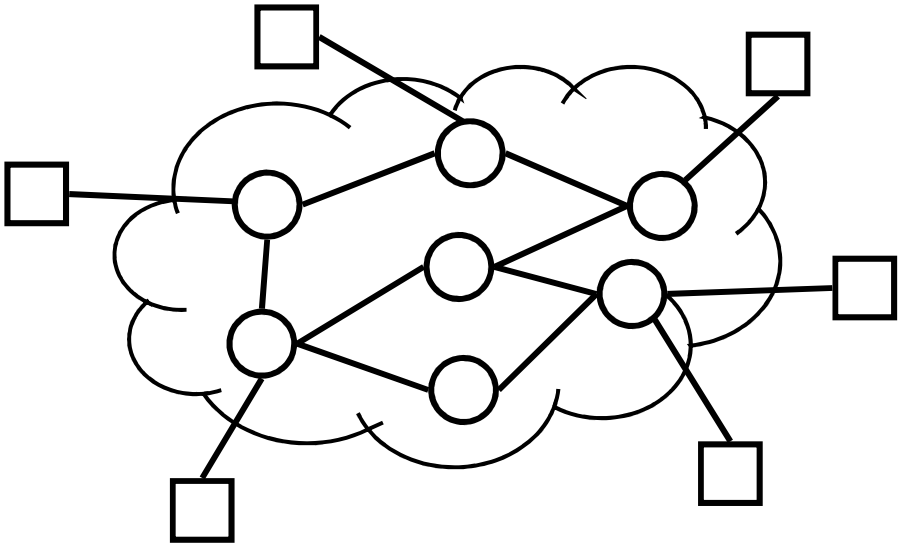


Contenidos

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

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

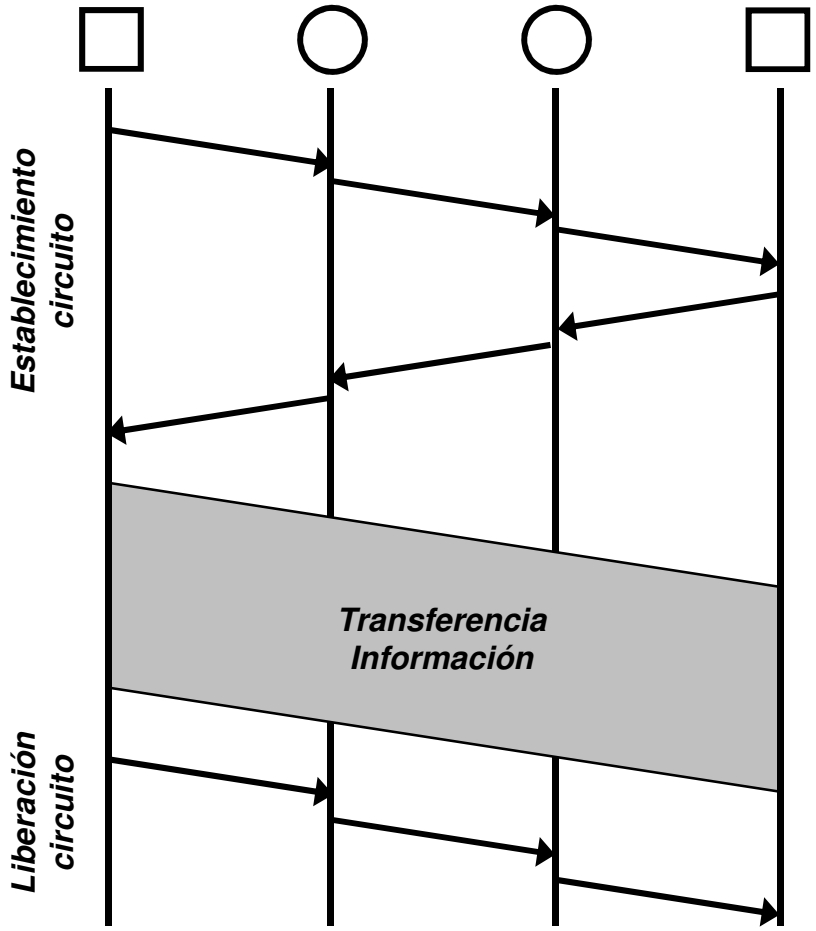


- Los dispositivos que se conectan a la red son las **estaciones**
  - Generan y reciben datos
- Los dispositivos que llevan a cabo la conmutación en la red son los **nodos**
  - Hay nodos que no están conectados con ninguna estación, y sólo realizan funciones de conmutación

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)

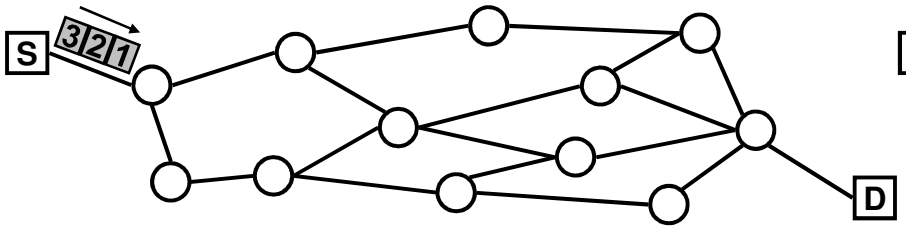
Conmutación de paquetes

- 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

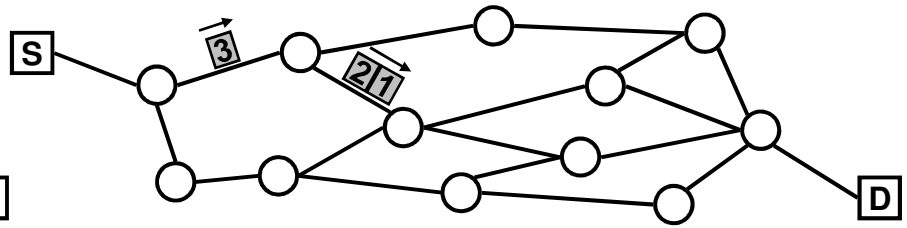
Conmutación de paquetes

- 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)

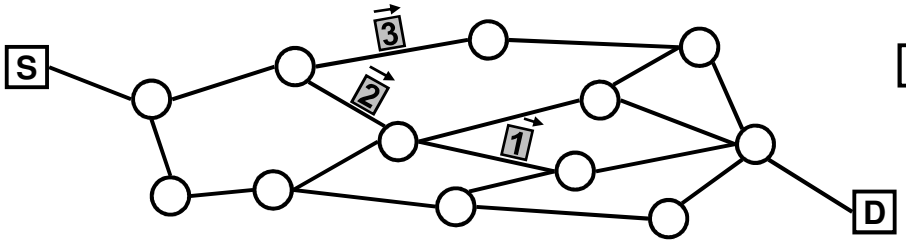
Conmutación de paquetes



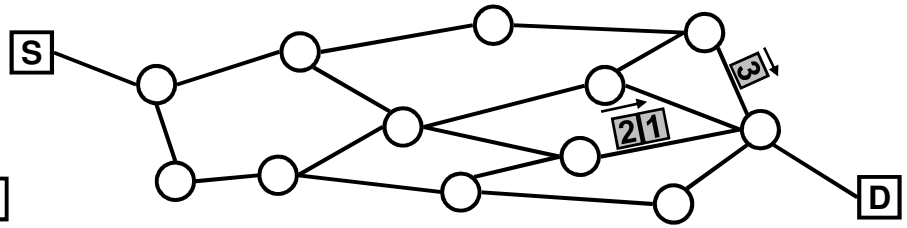
(1)



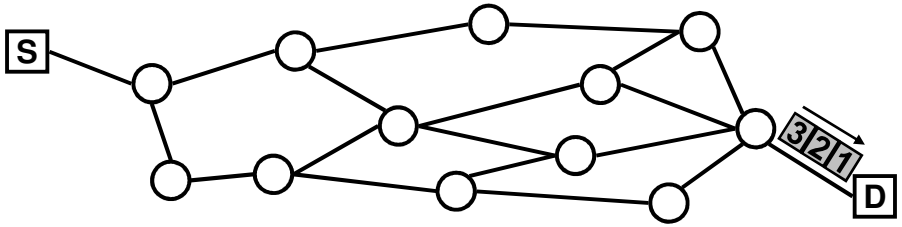
(2)



(3)



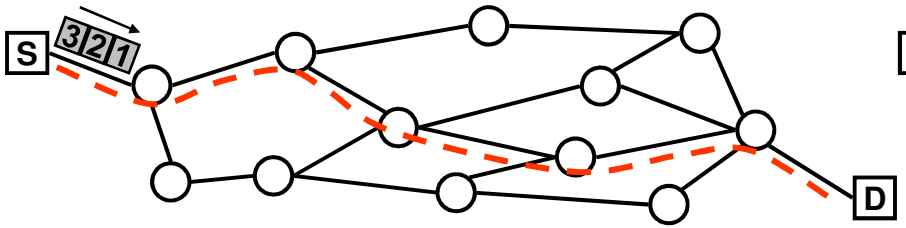
(4)



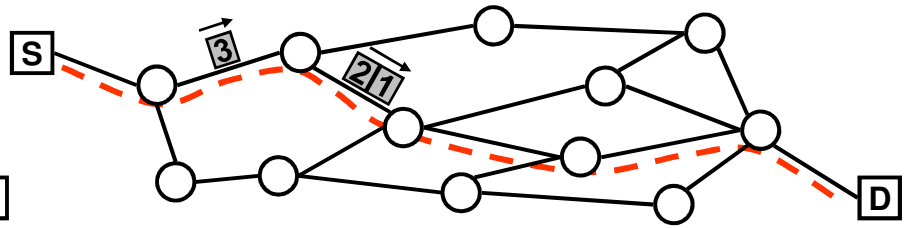
(5)

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

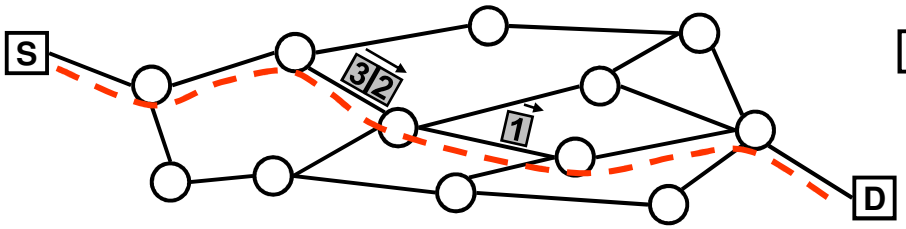
Conmutación de paquetes



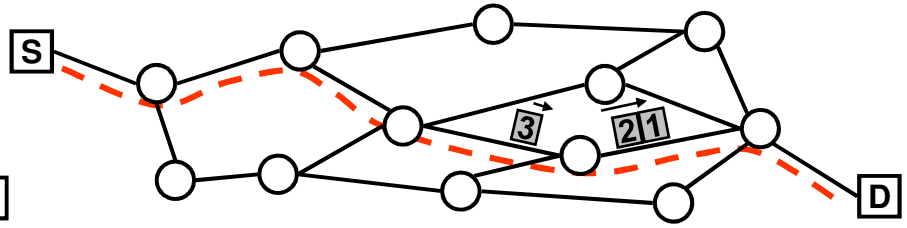
(1)



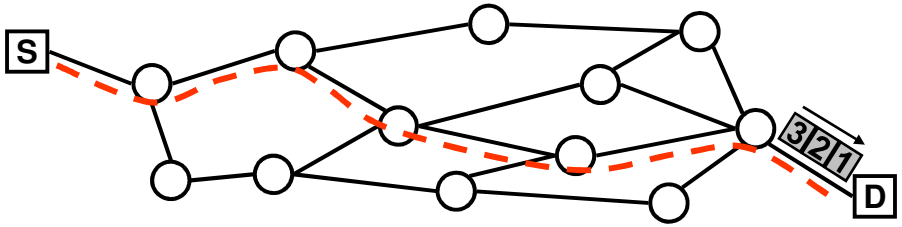
(2)



(3)



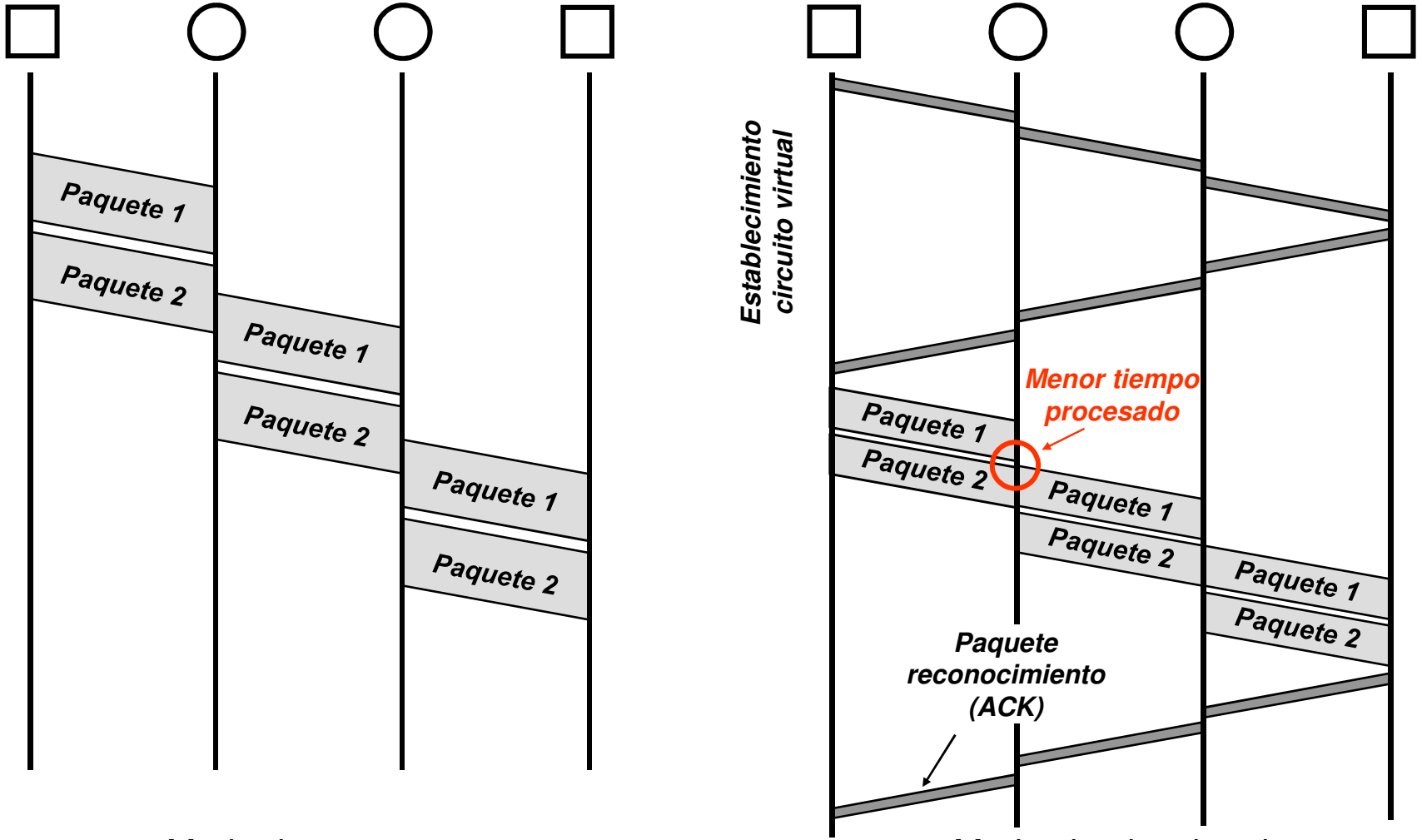
(4)



(5)

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

Conmutación de paquetes

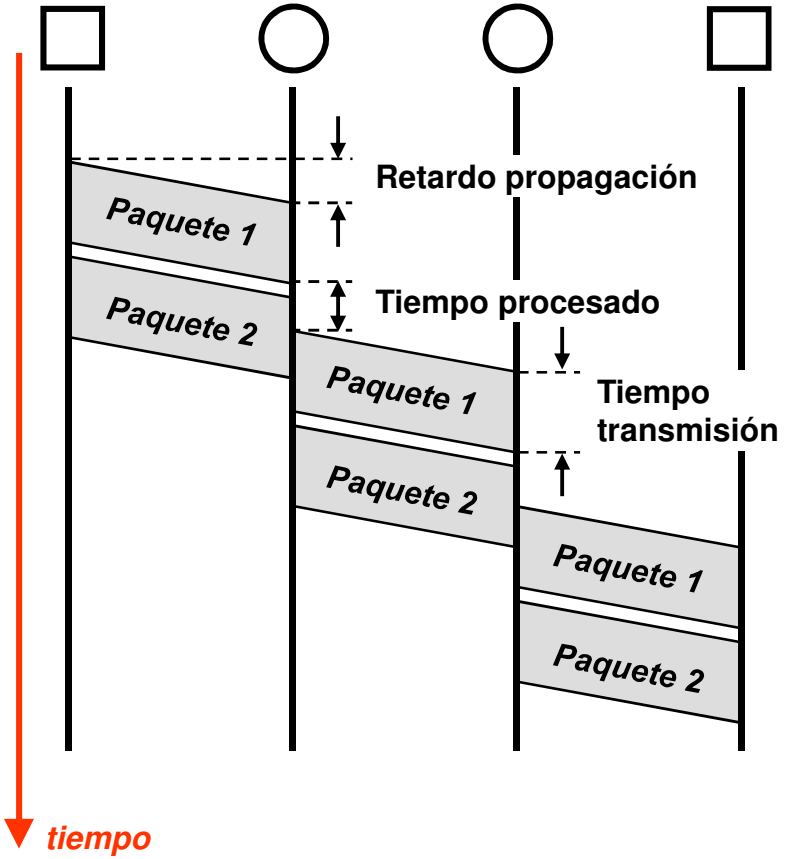


Modo datagrama

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



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

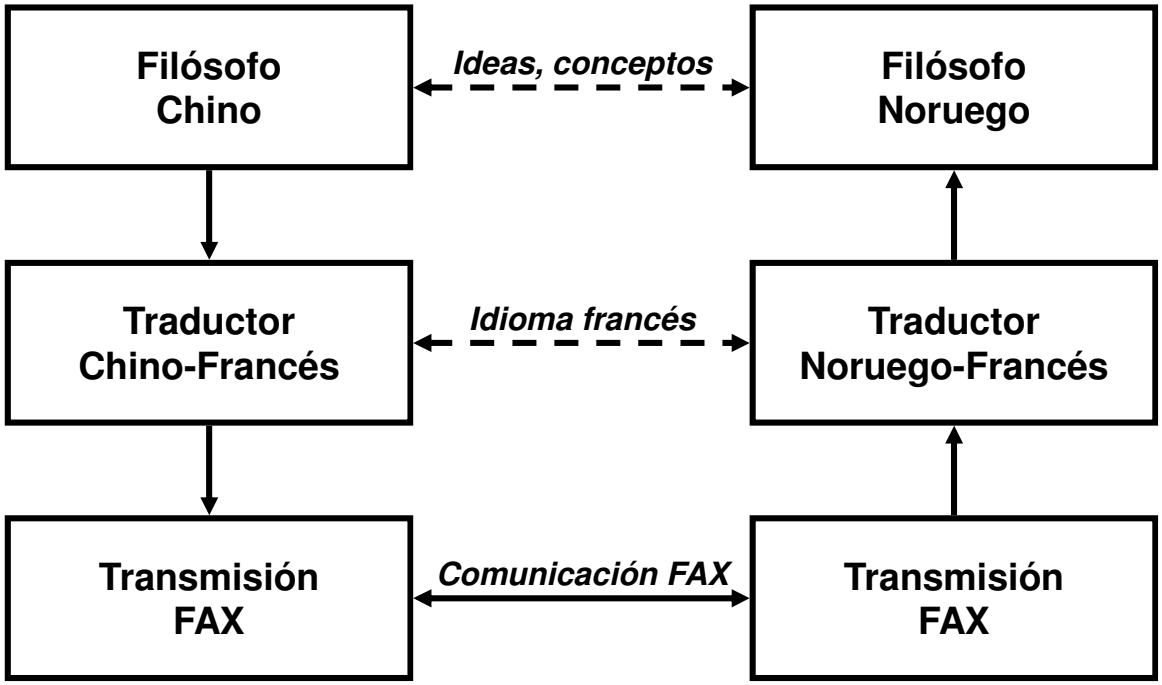
Contenidos

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

¿Qué es una arquitectura de protocolos?

- Estructura (en capas) de elementos software y hardware para realizar el intercambio de datos entre sistemas
- Se consigue pasar de un problema complejo a muchos problemas simples
  - Envío de un fichero entre dos ordenadores
    - ¿Hay conectividad entre los dos equipos?
    - ¿Puede el destino recibir los datos?
    - ¿Es el formato del fichero compatible?
    - ¿?
  - En lugar de disponer de un único módulo para resolver todas las cuestiones anteriores, se emplean varios componentes que cooperan entre sí
- Se suele representar como una arquitectura de capas
  - Cada nivel proporciona un **servicio** a la capa superior
  - Las comunicaciones entre entidades del mismo nivel (en diferentes máquinas) se llevan a cabo a través de un conjunto de reglas preestablecidas: **PROTOCOLO**

Motivación

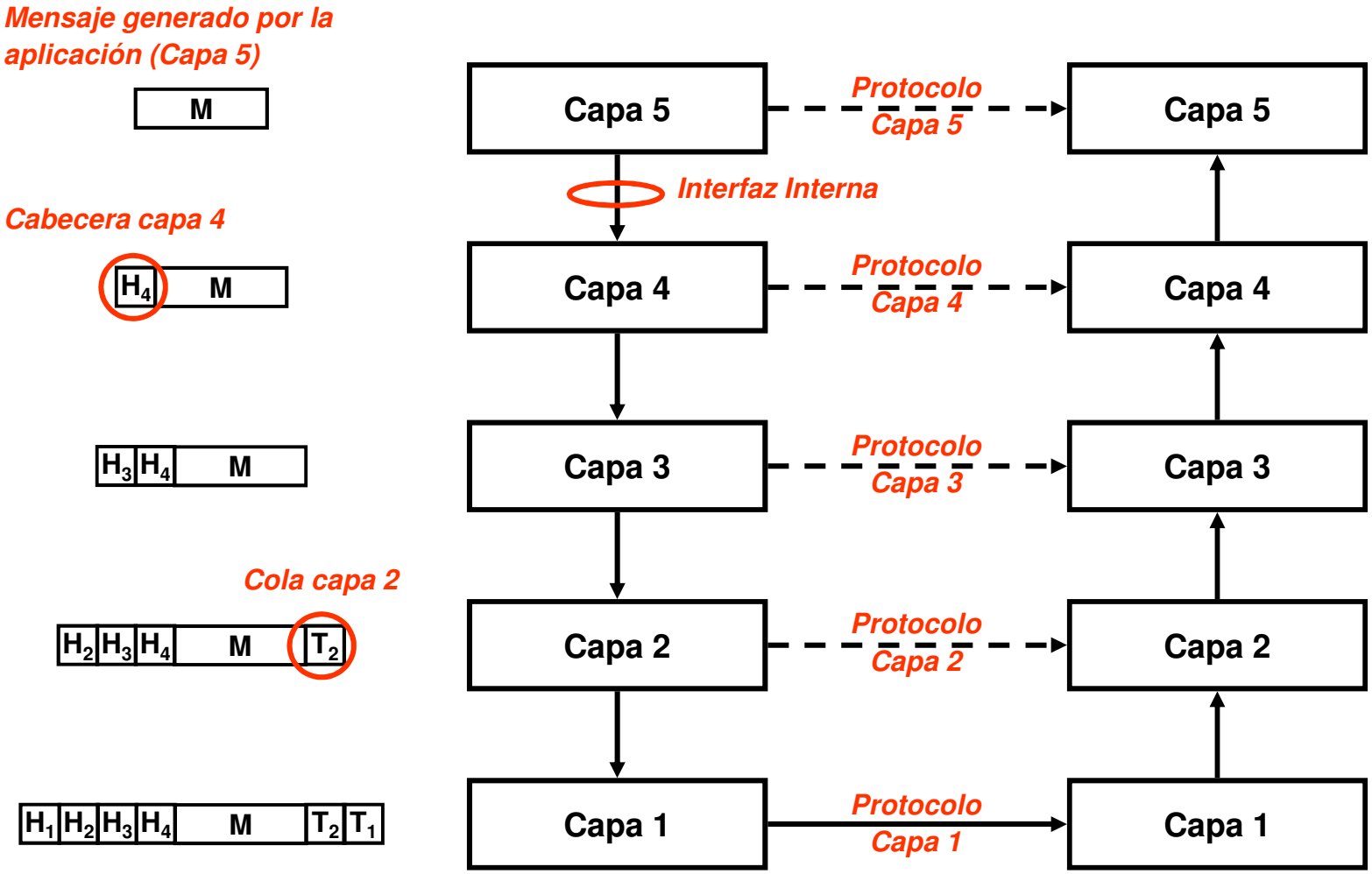


- Protocolos independientes
  - Traductores finlandeses
  - Comunicación por email
- La información sólo es para la entidad del mismo nivel en el destino (*peer*)

Aspectos a resolver en comunicaciones

- Identificación de los nodos
  - Direccionamiento
- Reglas para la transferencia de la información
  - Unidireccional
  - Bidireccional
- Control de errores
  - Diferentes estrategias
- Control de flujo
  - Para no saturar los receptores de la información
- Ordenación de los mensajes
  - Secuenciamiento
- Longitud de los mensajes
  - En función de las redes
  - Fragmentación y ensamblado
- Multiplexación
- Encaminamiento
  - Encontrar un camino válido entre origen y destino
- Representación común de la información
  - Sintaxis
  - Semántica
- …

Modelo de capas



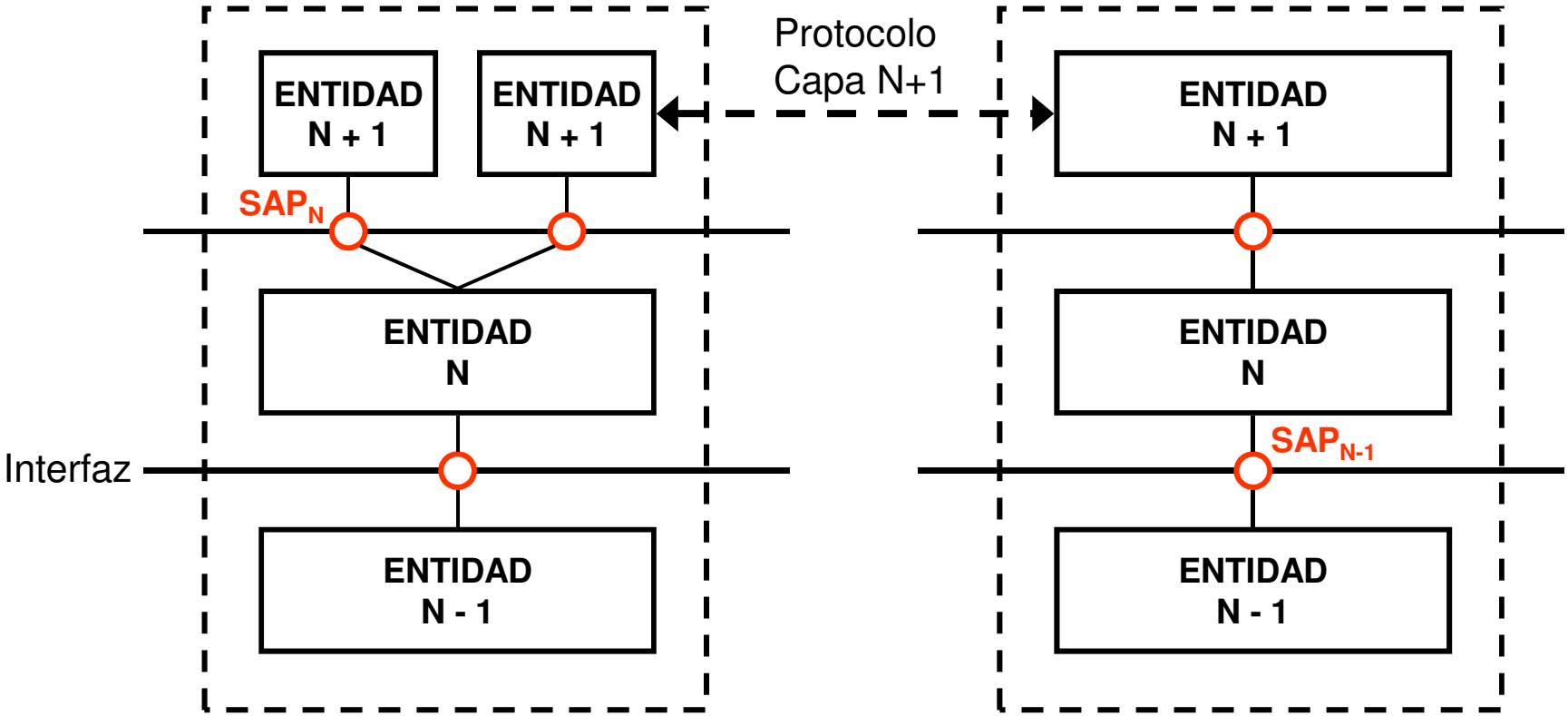
Modelo OSI

- El modelo de referencia Open Systems Interconnection (OSI) creado por la International Organization for Standardization (ISO) (1977)
- Se percibe la necesidad de disponer de estándares en el ámbito de las redes, debido a la aparición de múltiples soluciones heterogéneas
- OSI especifica un modelo de referencia
  - Define 7 capas y el objeto (funciones) de cada una de ellas
  - Establece las interfaces entre las diferentes redes
- OSI **NO** detalla la operación interna de las redes
  - No se especifican ni servicios ni protocolos de las capas

Modelo OSI

CAPA 7 Aplicación	• Aplicaciones ejecutándose en las diferentes máquinas
CAPA 6 Presentación	• Representación y formato de los datos
CAPA 5 Sesión	• Gestión del diálogo entre transmisor y receptor
CAPA 4 Transporte	• Control extremo a extremo de la comunicación • Comunicación fiable y segura
CAPA 3 Red	• Encaminamiento de la información a través de la red
CAPA 2 Enlace	• Control de errores sobre los enlaces directos entre nodos
CAPA 1 Físico	• Transmisión sobre el medio físico • Características eléctricas, funcionales, etc. Modulación, potencia,…

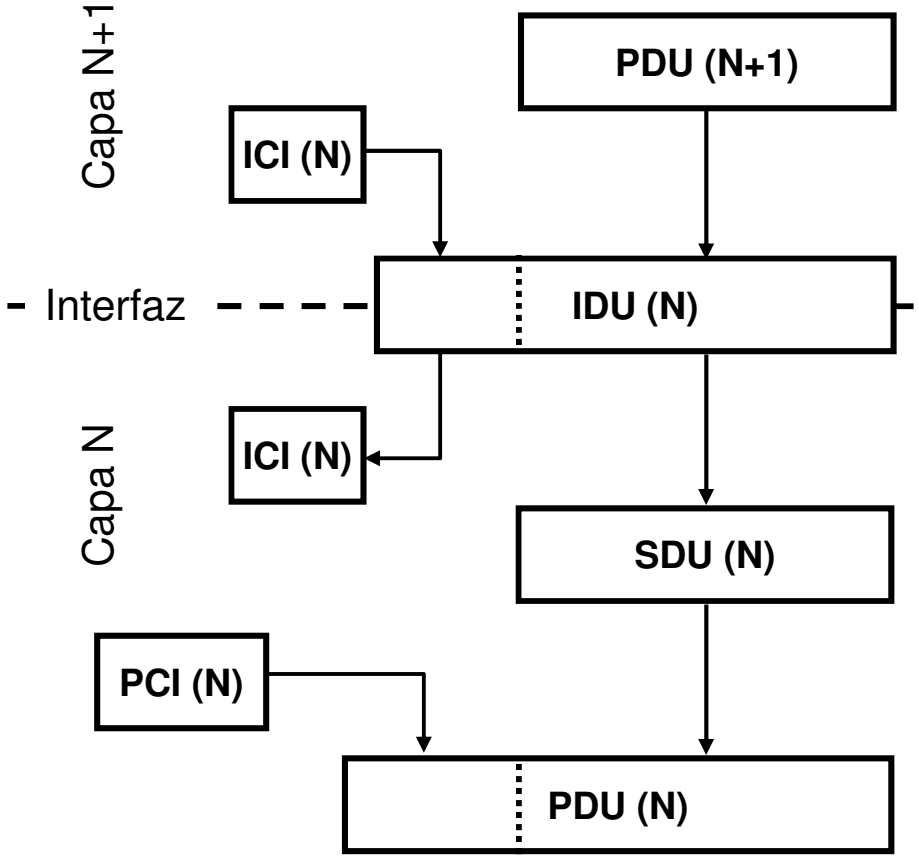
Modelo OSI: terminología



- Entidad de capa N+1 → usuario del servicio proporcionado por capa N

NOTA: SAP = Service Access Point (Punto de Acceso al Servicio)

Modelo OSI: terminología



- **PDU (Protocol Data Unit)**
  - Unidad de Datos de Protocolo
  - Información que manejan las entidades de un nivel
- **ICI (Interface Control Information)**
  - Información de Control de la Interfaz
  - No se transmite al receptor, simplemente se emplea en la interfaz entre dos niveles
- **IDU (Interface Data Unit)**
  - Es la combinación de la PDU de nivel superior y la ICI
- **SDU (Service Data Unit)**
  - Información que una capa recibe (o envía) de la superior
  - SDU (N) = PDU (N+1)
- **PCI (Protocol Control Information)**
  - Información de Control de Protocolo
  - Cabecera que añade cada capa a la SDU recibida del nivel superior
  - PDU (N) = SDU (N) + PCI (N)

Modelo TCP/IP: introducción

- Es el modelo usado en la Internet actualmente
- Internet es una evolución de la investigación llevada a cabo en la red de conmutación de paquetes ARPANET, fundada por DARPA (Defense Advance Research Projects Agency)
  - Financiación del DoD (Departamento de Defensa) del gobierno estadounidense
  - Conectó cientos de universidades e instalaciones gubernamentales
  - Al incorporar redes heterogéneas apareció la necesidad de disponer de un modelo de referencia
- Requerimientos
  - **Flexibilidad**: variedad en las necesidades concretas de las aplicaciones
  - **Robustez**: la red ha de 'sobrevivir' a la caída de elementos puntuales
- Grandes diferencias con el esquema OSI
- Éxito absoluto de implantación mundial

Modelo TCP/IP: historia

- El primer artículo acerca de la conmutación de paquetes aparece en 1961
- A finales de 1969 se conectaron 4 computadores en la ARPANET inicial
- El correo electrónico aparece en 1971
- El primer protocolo fue el Network Control Protocol (NCP)
- A partir de 1973 (Kahn y Cerf) se comienza a trabajar en TCP (dada la heterogeneidad de las redes)
- Posteriormente (1978) TCP se divide en los actuales TCP e IP (introduciendo además UDP)
- En 1984 aparece los sistemas de resolución de nombres (DNS)
- En 1990 desaparece la red ARPANET
- En 1992 aparece el www (1989, CERN) y el lenguaje html: **ECLOSIÓN** de Internet

Modelo TCP/IP: historia

- El éxito de Internet es innegable
- Existen numerosas estadísticas que corroboran este hecho
- Uso de Internet(1)

	Penetración Internet	Crecimiento 2000/2010
Africa	11.4 %	2527 %
Asia	23.8 %	707 %
Europa	58.3 %	353 %
Oriente Medio	31.7 %	1987 %
América del Norte	78.3 %	152 %
América Latina / Caribe	36.2 %	1037 %
Oceanía	60.1 %	179 %
Global	30.2 %	445 %

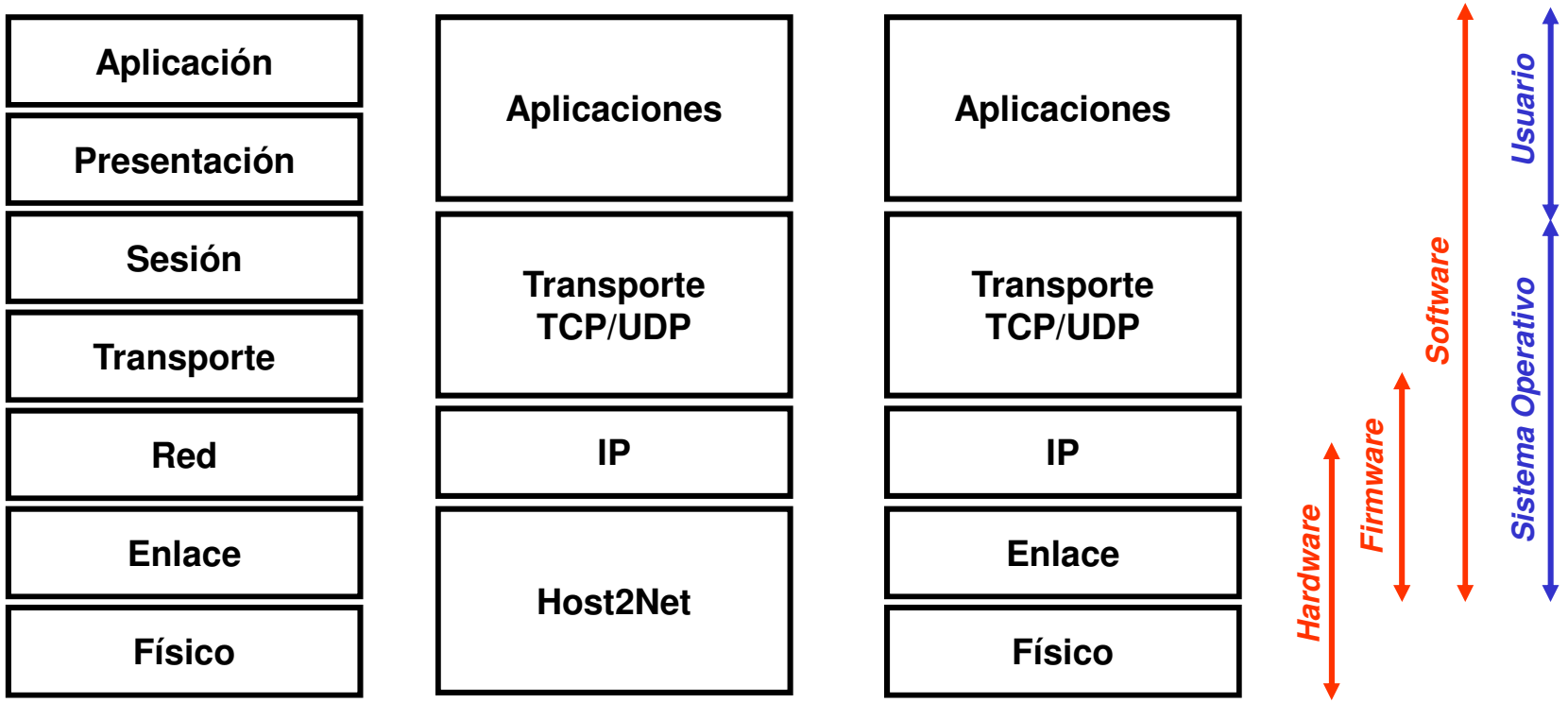
(1) Fuente: www.internetworldstats.com 2011

Modelo TCP/IP Vs. OSI

- En OSI el modelo se establece antes que los protocolos, mientras que en TPC/IP los protocolos son los que 'marcan' el modelo
  - OSI se puede utilizar para describir varias arquitecturas
  - El modelo TCP/IP no puede emplearse para describir cualquier arquitectura de comunicaciones
- Evolución temporal de los estándares
  - Teoría del 'Apocalipsis de los dos elefantes'
- Los protocolos en OSI (dada su complejidad) presentan algunos fallos
  - El modelo de 7 capas es 'forzado' (especialmente Sesión y Presentación)
- TCP/IP hace poco énfasis en las capas física y de enlace
- El desarrollo de protocolos en TCP/IP es más abierto
  - Los protocolos se describen en documentos denominados *Request For Comments* (RFC), completamente abiertos (actualmente hay más de 5000 RFCs)
  - *"We reject: kings, presidents and voting. We believe in: rough consensus and running code" (Clark)*

Modelo TCP/IP

- Modelo de referencia TCP/IP



Modelo OSI | Modelo TCP/IP | Modelo Híbrido

Modelo TCP/IP

- Ejemplo de función IP (Kernel 2.6.11 de Linux)

```
377/*
378 *      Main IP Receive routine.
379 */
380int ip_rcv(struct sk_buff *skb, struct net_device *dev, struct packet_type *pt, struct net_device *orig_dev)
381{
382        struct iphdr *iph;
383        u32 len;
384
385        /* When the interface is in promisc. mode, drop all the crap
386         * that it receives, do not try to analyse it.
387         */
388        if (skb->pkt_type == PACKET_OTHERHOST)
389                goto drop;
390
391        IP_INC_STATS_BH(IPSTATS_MIB_INRECEIVES);
392
393        if ((skb = skb_share_check(skb, GFP_ATOMIC)) == NULL) {
394                IP_INC_STATS_BH(IPSTATS_MIB_INDISCARDS);
395                goto out;
396        }
397
398        if (!pskb_may_pull(skb, sizeof(struct iphdr)))
399                goto inhdr_error;
400
401        iph = ip_hdr(skb);
402
403        /*
404         *      RFC1122: 3.1.2.2 MUST silently discard any IP frame that fails the checksum.
405         *
406         *      Is the datagram acceptable?
407         *
408         *      1.      Length at least the size of an ip header
409         *      2.      Version of 4
410         *      3.      Checksums correctly. [Speed optimisation for later, skip loopback checksums]
411         *      4.      Doesn't have a bogus length
412 */
413
```

Modelo TCP/IP

```
414         if (iph->ihl < 5 || iph->version != 4)
415                 goto inhdr_error;
416
417         if (!pskb_may_pull(skb, iph->ihl*4))
418                 goto inhdr_error;
419
420         iph = ip_hdr(skb);
421
422         if (unlikely(ip_fast_csum((u8 *)iph, iph->ihl)))
423                 goto inhdr_error;
424
425         len = ntohs(iph->tot_len);
426         if (skb->len < len) {
427                 IP_INC_STATS_BH(IPSTATS_MIB_INTRUNCATEDPKTS);
428                 goto drop;
429         } else if (len < (iph->ihl*4))
430                 goto inhdr_error;
431
432         /* Our transport medium may have padded the buffer out. Now we know it
433          * is IP we can trim to the true length of the frame.
434          * Note this now means skb->len holds ntohs(iph->tot_len).
435          */
436         if (pskb_trim_rcsum(skb, len)) {
437                 IP_INC_STATS_BH(IPSTATS_MIB_INDISCARDS);
438                 goto drop;
439         }
440
441         /* Remove any debris in the socket control block */
442         memset(IPCB(skb), 0, sizeof(struct inet_skb_parm));
443
444         return NF_HOOK(PF_INET, NF_IP_PRE_ROUTING, skb, dev, NULL,
445                        ip_rcv_finish);
446
447inhdr_error:
448         IP_INC_STATS_BH(IPSTATS_MIB_INHDRERRORS);
449drop:
450         kfree_skb(skb);
451out:
452         return NET_RX_DROP;
453}
```

Protocolo IP

- Protocolo básico de red empleado en TCP/IP
- Servicio *'best-effort'*
  - No orientado a la conexión (modo datagrama)
  - No confirmado
  - Los datagramas pueden perderse, llegar desordenados al destino, etc
- La versión más extendida es IPv4 (RFC791)
  - El despliegue de IPv6 es más lento de lo que se pensaba
- Funciones básicas
  - Segmentación y reensamblado
  - Direccionamiento
  - Encaminamiento
- Utiliza campos de 32 bits (4 bytes) para direccionar los nodos
  - Se suele emplear una notación decimal por puntos: 192.168.1.23
  - Se identifica la red y el host (nodo) dentro de la misma
  - Direcciones públicas y privadas

Protocolos de soporte

- Resolución de direcciones
  - ARP (Address Resolution Protocol): permite averiguar la dirección hardware de un nodo a partir de su IP
  - RARP (Reverse Address Resolution Protocol): permite averiguar a un equipo su dirección IP a partir de la MAC
- ICMP (Internet Control Message Protocol)
  - Se emplea para monitorizar la red, detectar conectividad entre nodos, etc…
  - Aplicación *ping*: utiliza para detectar la existencia de comunicación entre nodos

Protocolos de transporte: TCP y UDP

- TCP (Transmission Control Protocol)
  - Principal protocolo de transporte en la arquitectura TCP/IP
  - Está descrito en el RFC793, aunque se han incorporado posteriormente numerosos algoritmos y modificaciones adicionales
  - Proporciona un servicio orientado a la conexión, seguro y con control de flujo
    - Uso de reconocimientos (ACK) y de retransmisiones para recuperarse ante eventuales pérdidas
    - Reduce la tasa de entrega de datos al detectar 'congestión' en la red
    - Asegura una entrega ordenada de los 'segmentos' de datos, independientemente de cómo los entregue la capa IP
- UDP (User Datagram Protocol)
  - Servicio no fiable, no orientado a la conexión: extensión de IP
    - No ordena los datagramas, no asegura su correcta recepción
  - Definido en el RFC768
  - Apropiado para aplicaciones con requerimientos en tiempo real

Aplicaciones TCP/IP

- Hay numerosos protocolos de aplicación
  - HTTP (Hyper Text Transfer Protocol): Protocolo básico en aplicaciones www
  - DNS (Domain Name System): Resolución de nombres
  - SMTP (Simple Mail Transfer Protocol): Empleado por los clientes de correo para enviar mensajes
  - FTP (File Transfer Protocol): Se utiliza para descargar ficheros
  - …