

Tema 1 – Introducción

Ramón Agüero Calvo

*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 1250 M de líneas telefónicas fijas^(*) y más de 2150 M de teléfonos móviles^(*)

(*) CIA World Fact 2005

¿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

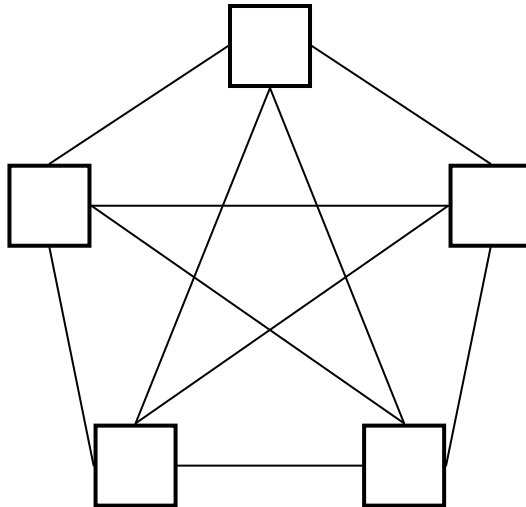
- ITU (International Telecommunication Union) – www.itu.int
 - ITU-T: ITU, sector de telecomunicaciones
 - ITU-R: ITU, sector de radiocomunicaciones
- ISO: International Standards Organization – www.iso.org
- ETSI: European Telecommunications Standard Institute – www.etsi.org
- ANSI: American National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

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

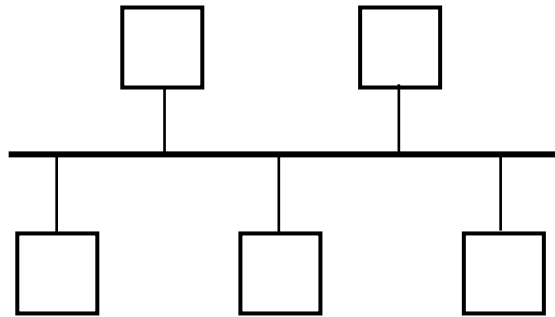
- Para N alto → crecimiento exponencial

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

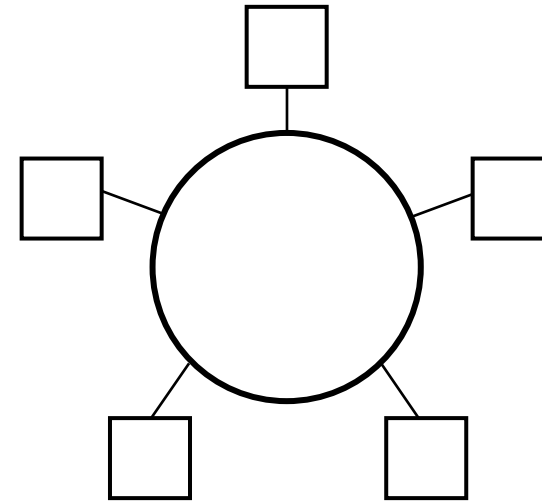
- Poco económico
- Sólo viable con redes pequeñas

Topologías de red

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



Red en Bus



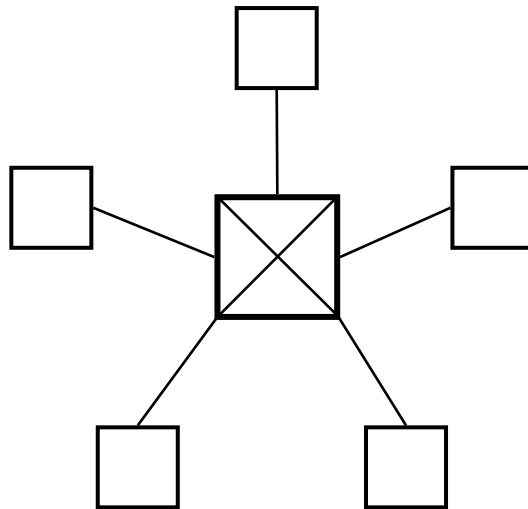
Red en Anillo

- 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

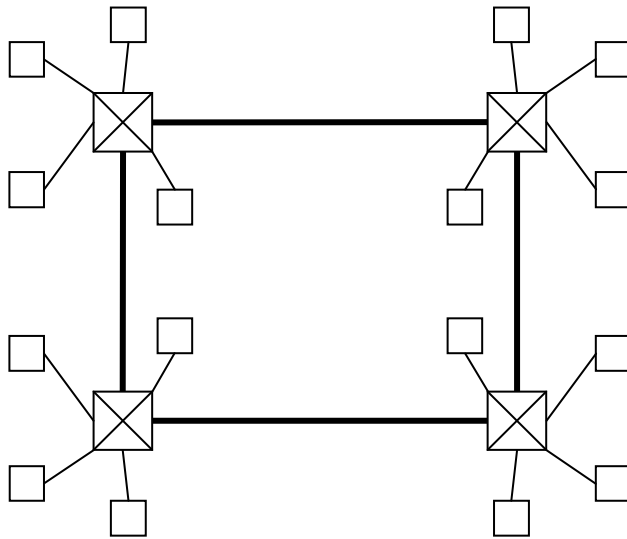


▪ Red en Estrella

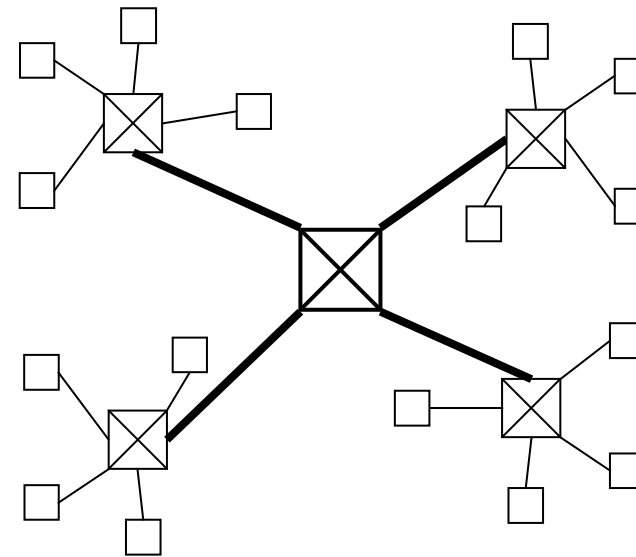
- $E = N \rightarrow$ Crecimiento lineal
- Central cara, pero solución rentable, al disminuir el # de líneas
- Solución escalable

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



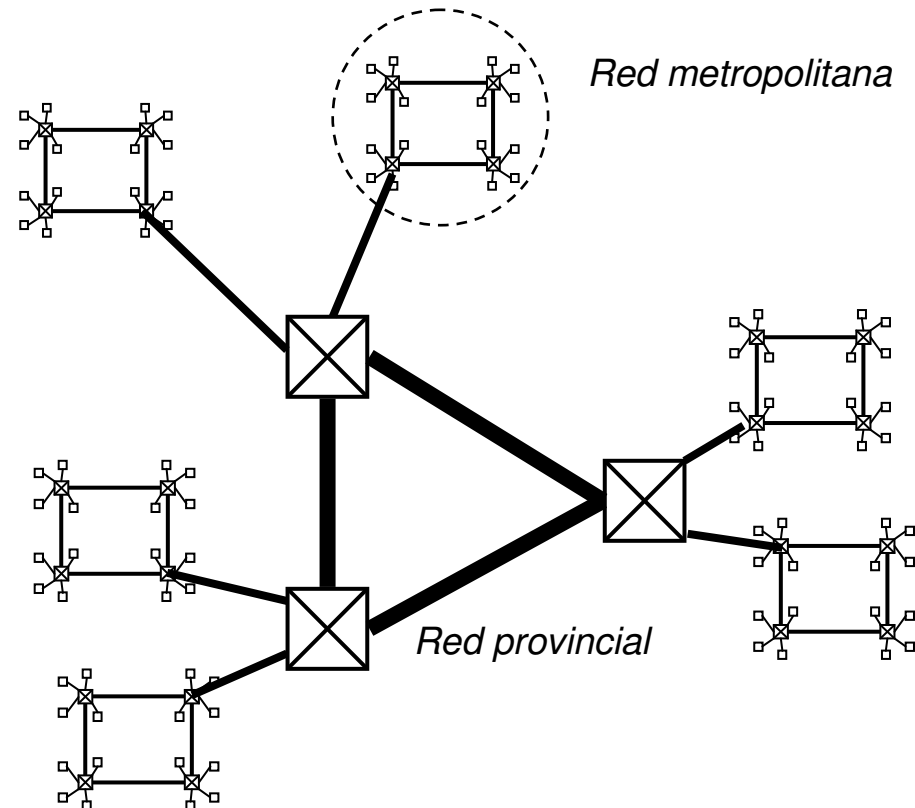
Conexión directa



*Conexión mediante **Central Tandem***

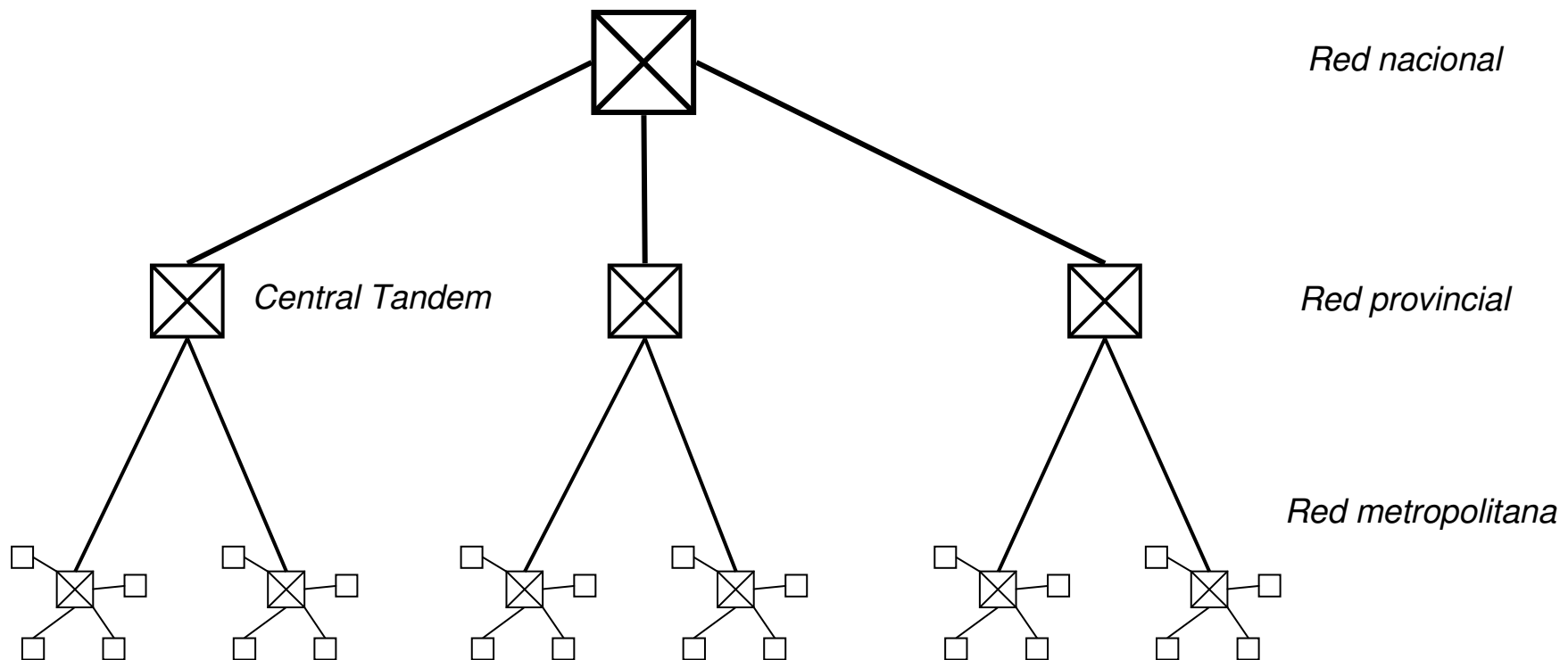
Estructura de la red telefónica

- Extensión geográfica → Establecimiento de una jerarquía en la red



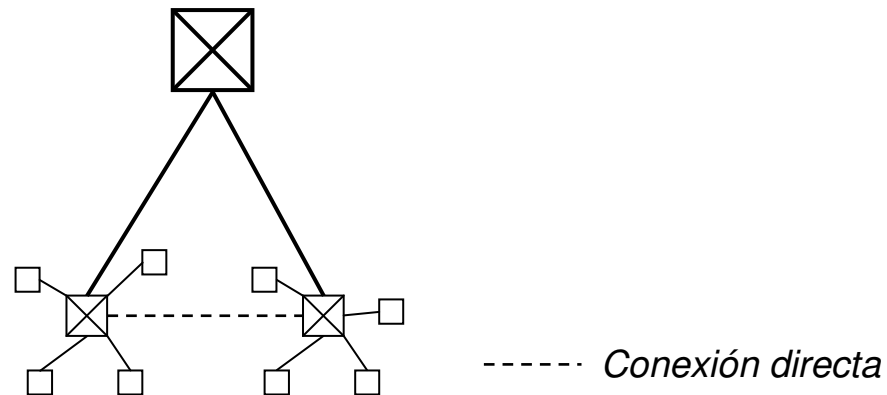
Estructura de la red telefónica

- Representación jerárquica de la red en estrella

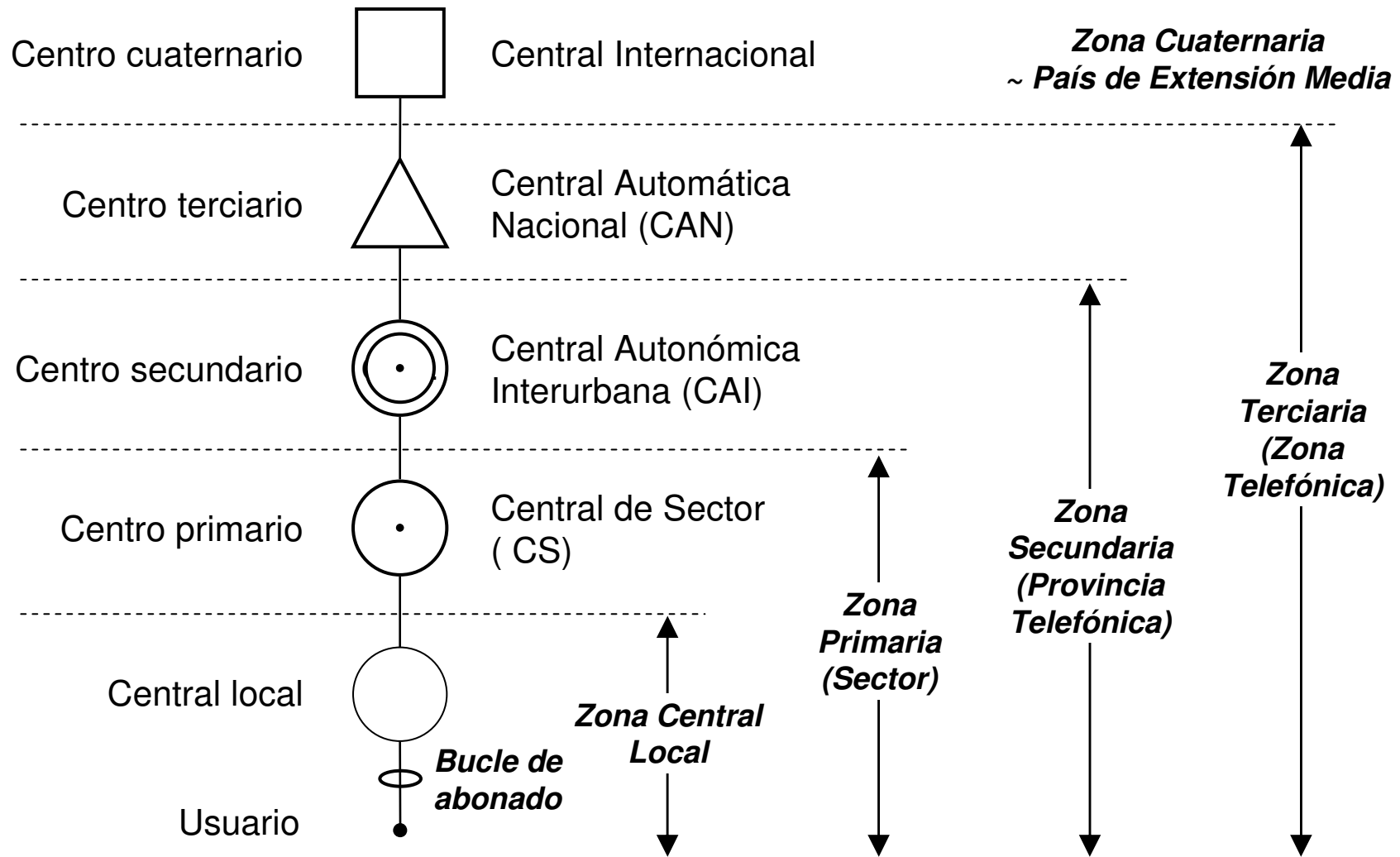


Estructura de la red telefónica

- 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



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

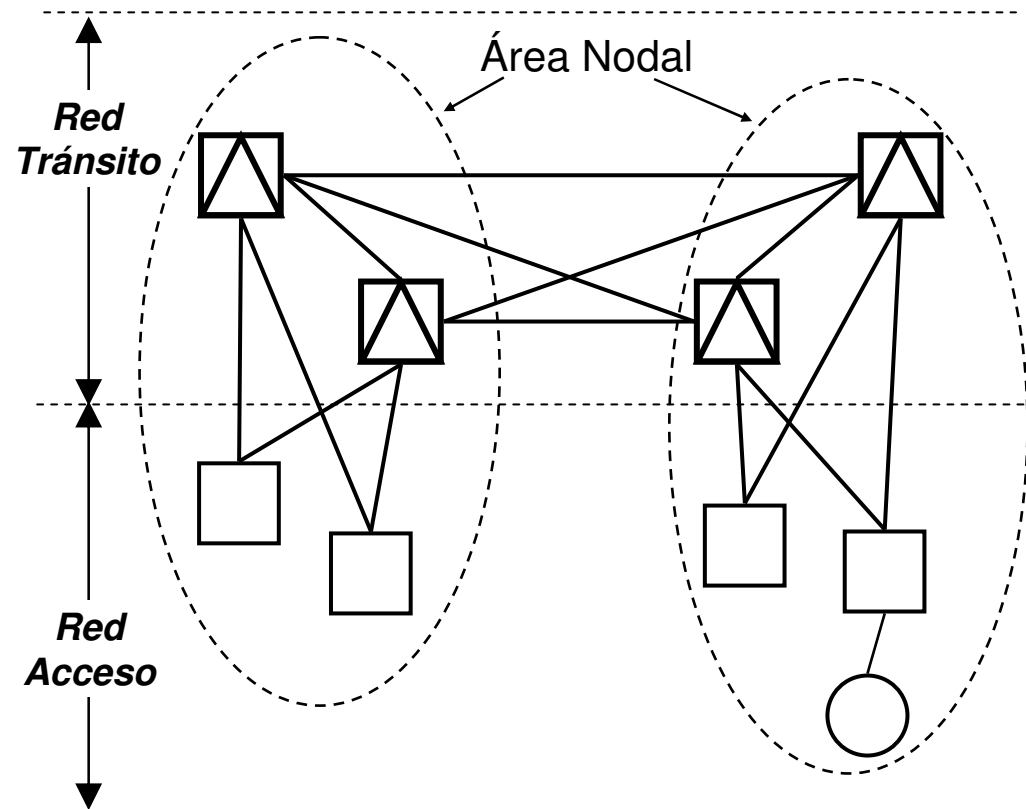
- El encaminamiento favorece habitualmente las rutas directas

Evolución hacia la red digital

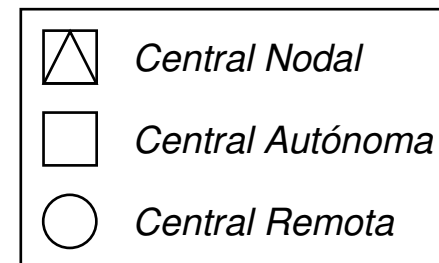
- Ventajas claras de la tecnología digital
- Digitalización de la red de tránsito nacional
 - Desaparecen niveles jerárquicos
 - La **Central Nodal** sustituye a las centrales secundarias y terciarias
 - Se establecen **Áreas Nodales**
- La red de acceso se digitaliza de manera paulatina
 - En la actualidad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

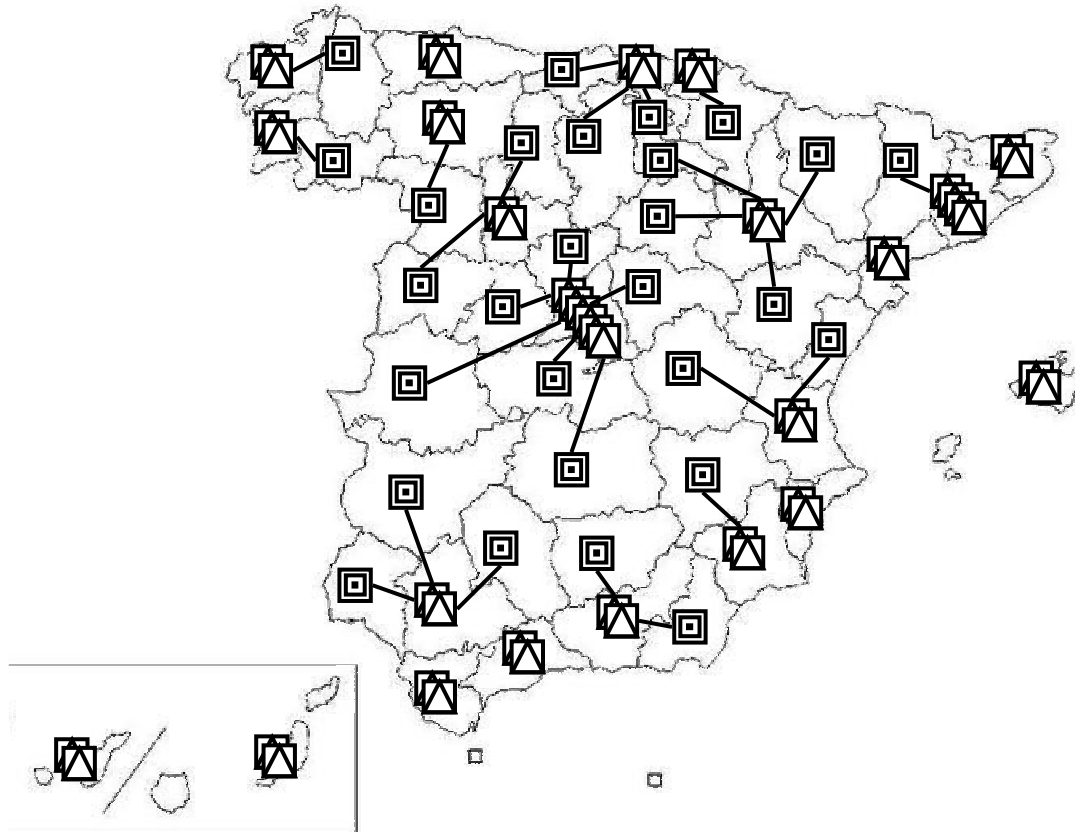
- Se definen dos niveles: Tránsito (Centrales Nodales) y Acceso (Centrales autónomas y remotas)



- 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

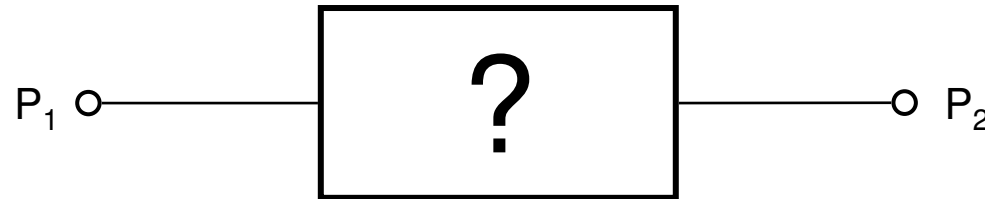
- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación
- Introducción a las arquitecturas de protocolos

¿Qué es la transmisión?

- La señal utiliza “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 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



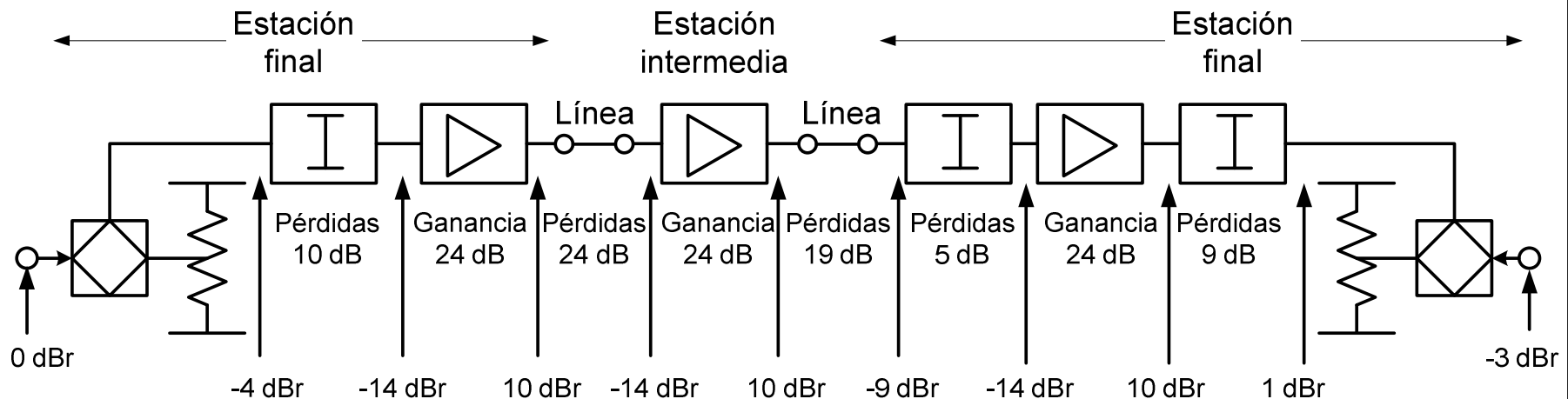
- Se definen la ganancia (G) y la atenuación (L) del sistema (en escala logarítmica – decibelios o dB)

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

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

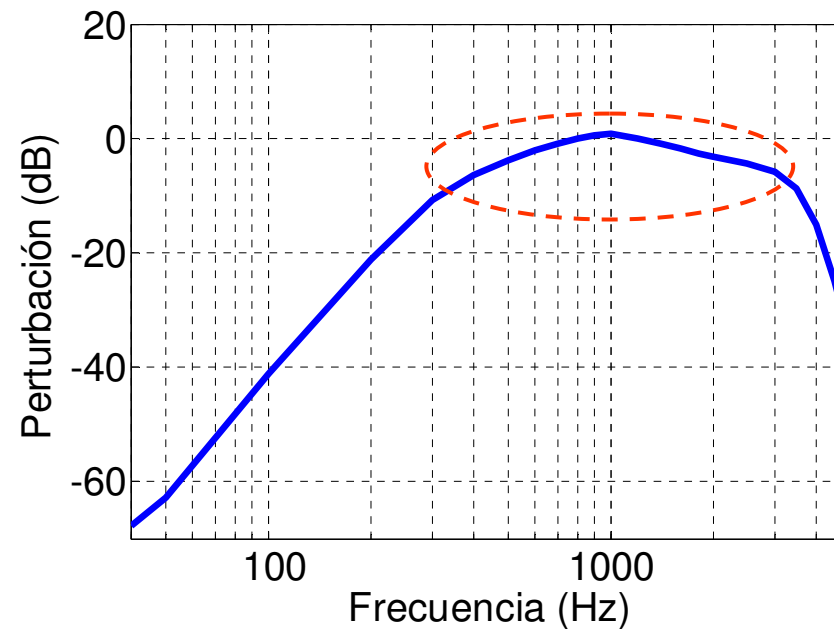
Niveles de potencia

- 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
 - $\text{dBm0} = \text{dBm} - \text{dBr} \rightarrow \text{dBm} = \text{dBm0} + \text{dBr}$



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) \rightarrow $\text{dBm}_0 = \text{dBm}_{0p} + 2.5 \text{ dB}$

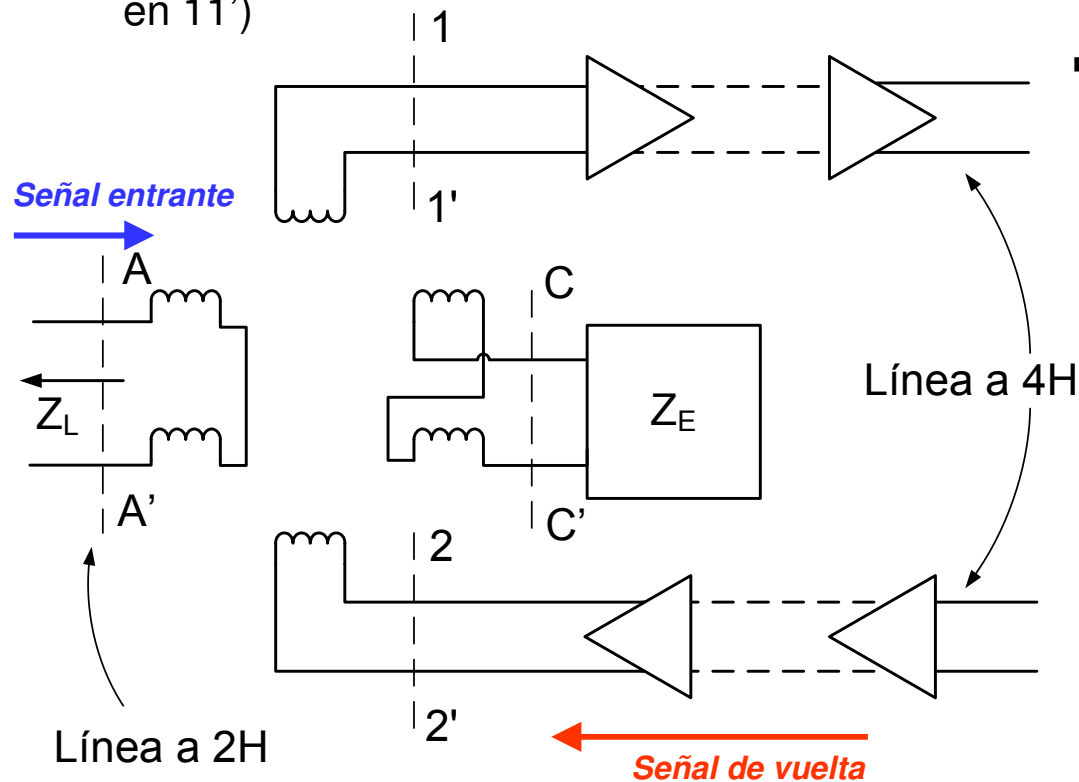


Circuitos a 2 y 4 hilos

- 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

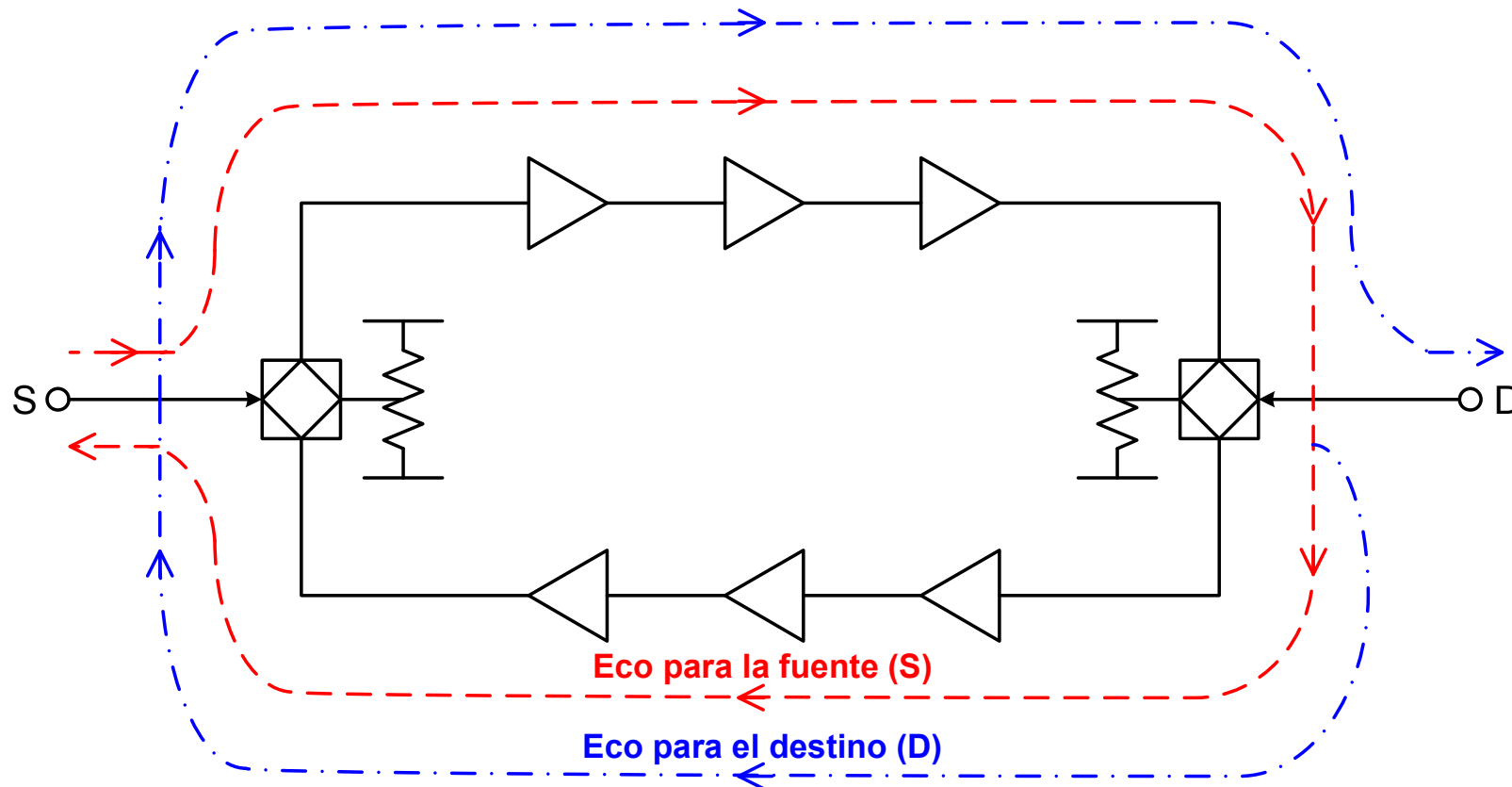
- La señal que llega por 22' se reparte entre Z_L y Z_E
 - Se transfiere al circuito de 2 hilos con 3 dB de atenuación
 - No se transfiere nada a la rama superior (corrientes iguales y de signo contrario en 11')



- 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

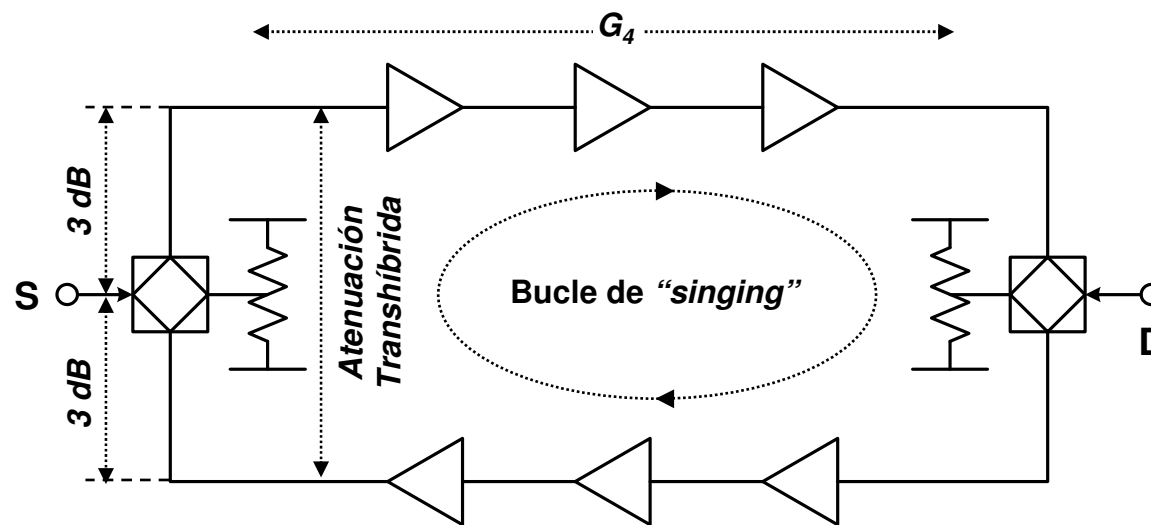
ECOS

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



Ecoss

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



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

- 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})
 - $(L_{ED})_{dB} = (3 + B) - G_4 + (6 + B) - G_4 + 3 = 2 L_{SD} + 2B$

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

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 aparecer problemas de **estabilidad**
 - La 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...

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

- 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

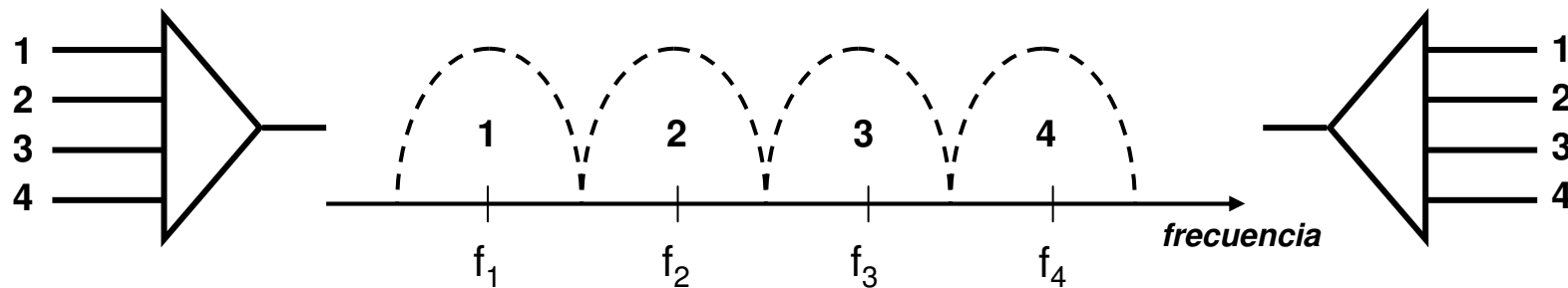
- Introducción a las redes telefónicas
- Topologías y estructuras básicas de red
- Transmisión
- Multiplexación
- Técnicas de conmutación
- Introducción a las arquitecturas de protocolos

¿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

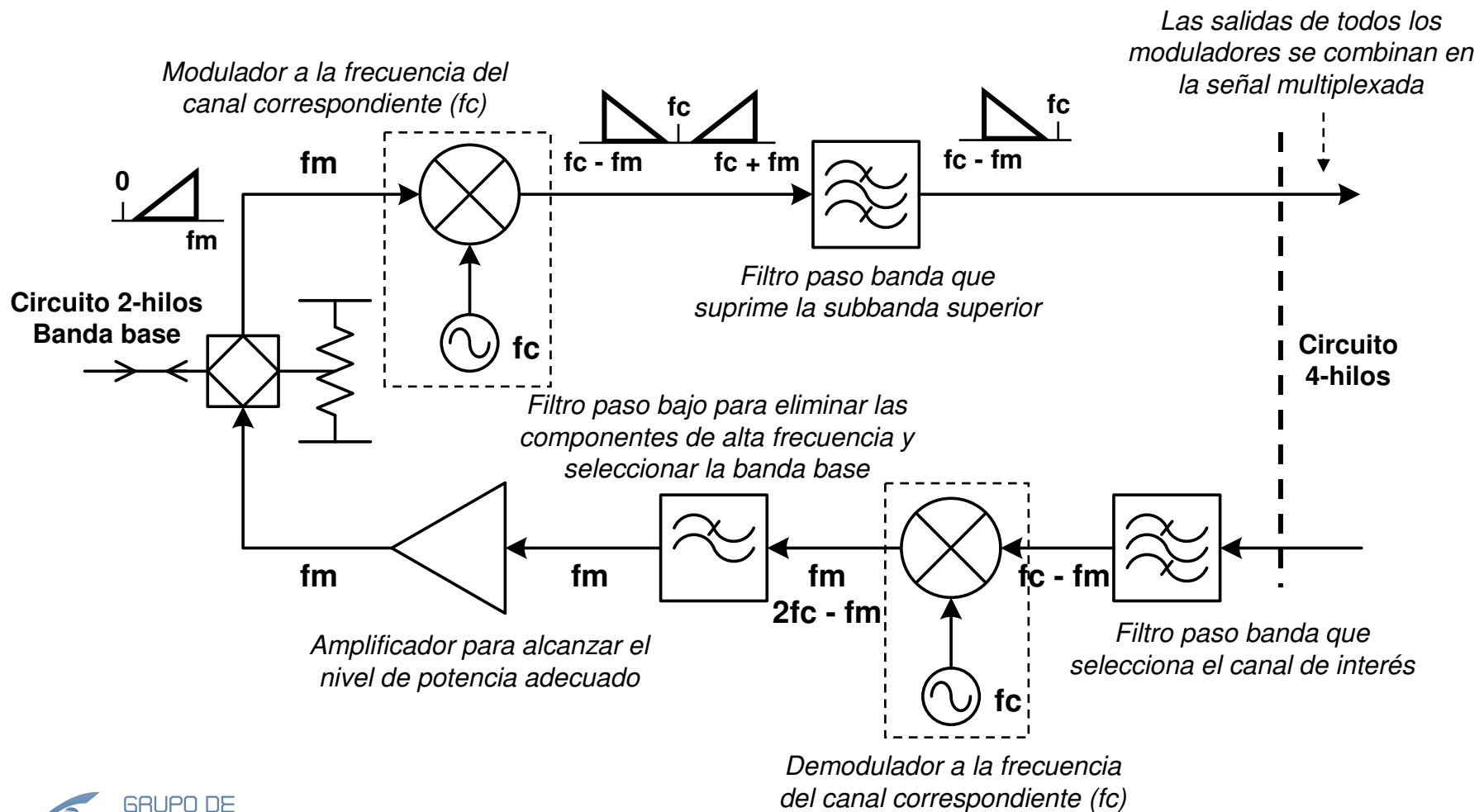
Multiplexación FDM

- 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



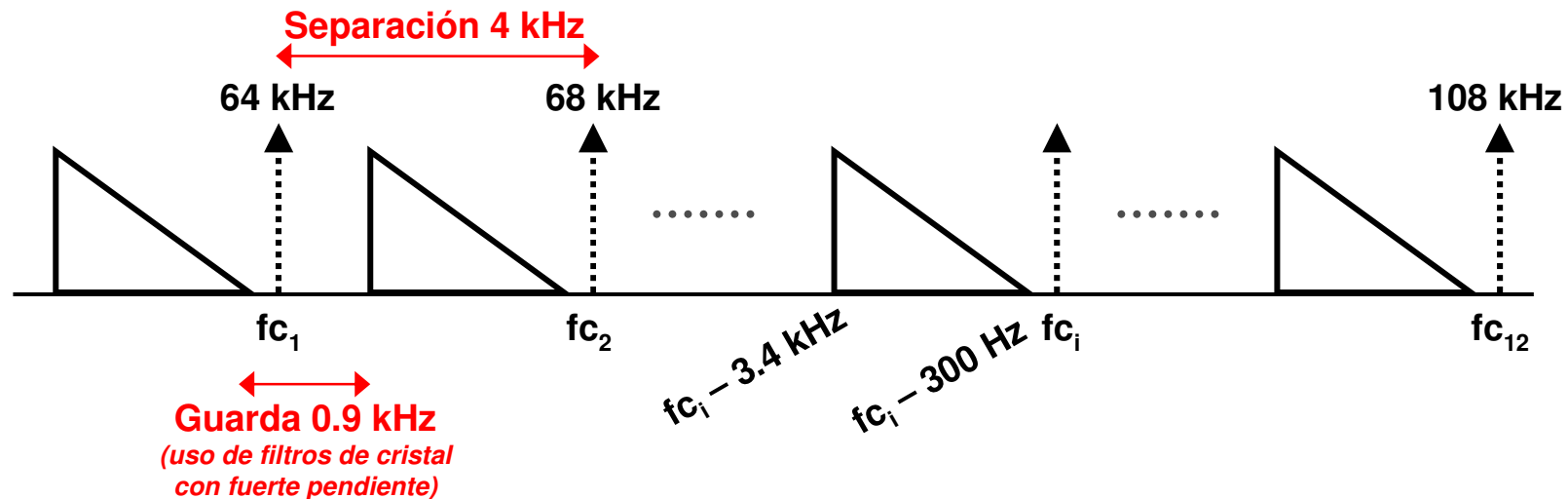
Multiplexación FDM

- Esquema de un DEMUX (demultiplexor/multiplexor) FDM



Multiplexación FDM

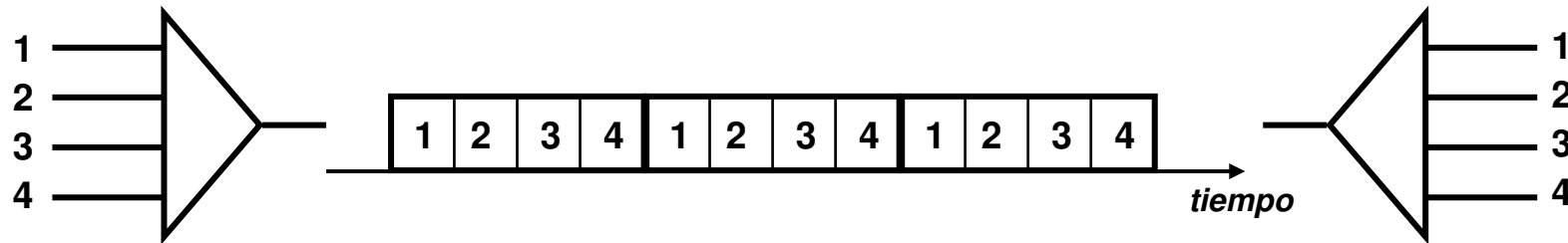
- Recomendación de la ITU-T (antiguamente CCITT) para la agrupación de canales telefónicos
 - Grupo primario (o grupo básico): agrupación de 12 canales (de 4 kHz cada uno) entre 60 y 108 kHz (ancho de banda, *bandwith* o BW, de 48 kHz)



- 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

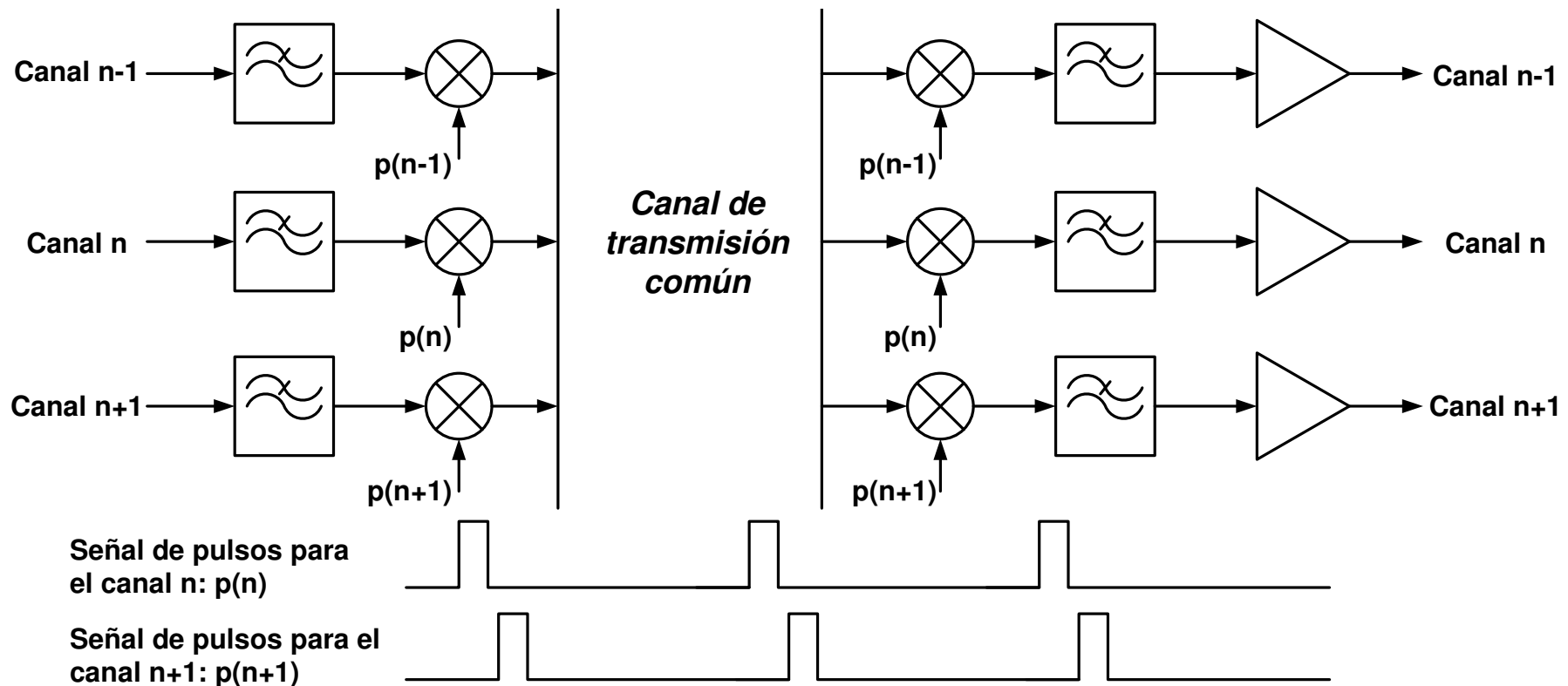
Multiplexación TDM

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



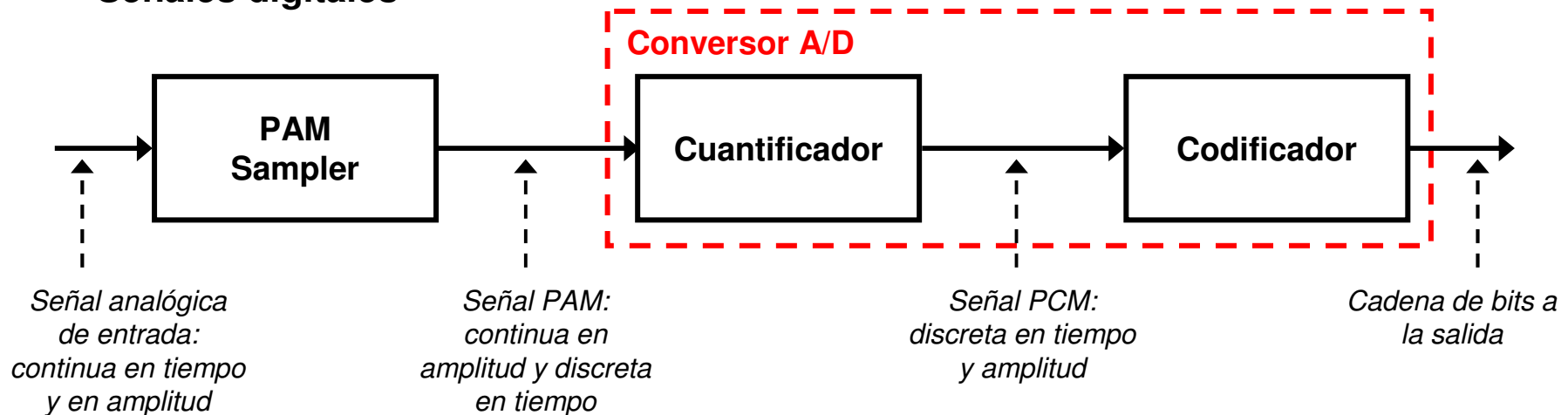
Multiplexación TDM

- 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

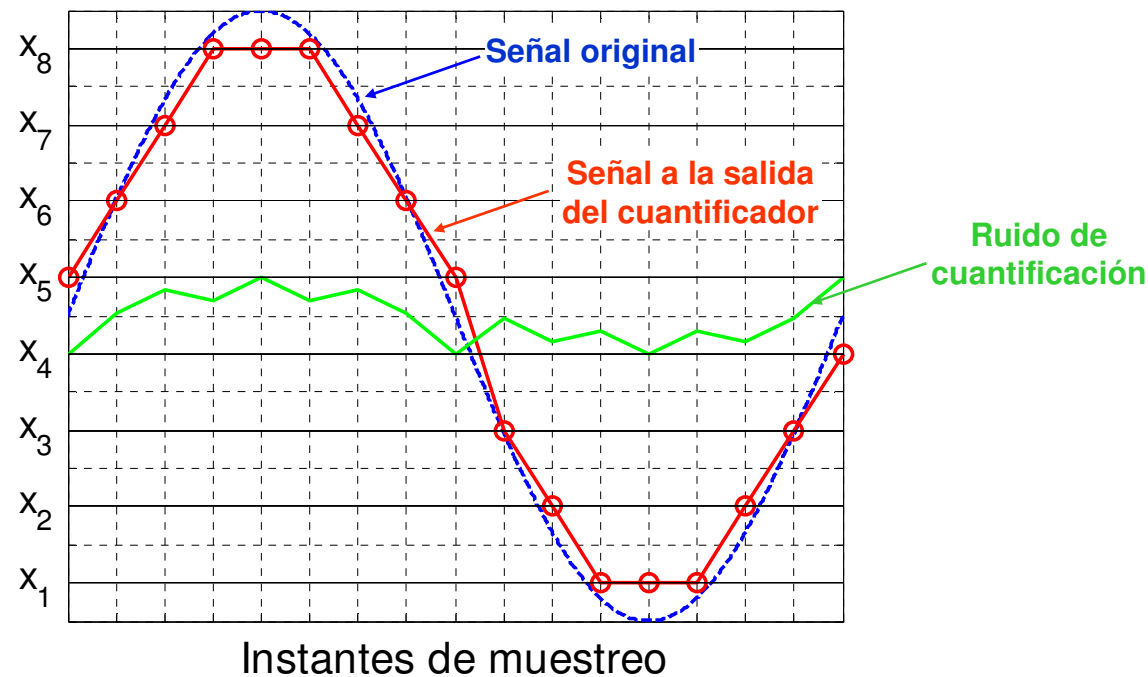
- Señal modulada en amplitud con pulsos (*Pulse Amplitude Modulation* o PAM)
 - No se emplea en sistemas reales por la atenuación y el retardo de grupo de los medios de transmisión
- La multiplexación TDM se emplea con señales PCM (Pulse Code Modulation):
Señales digitales



- **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

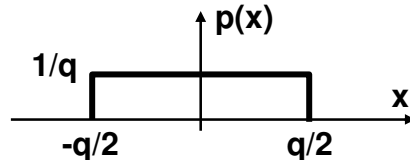
- La cuantificación es el proceso por el que una señal continua se mapea en un conjunto discreto de valores
- Aun cumpliendo el teorema de Nyquist, al discretizar la señal continua se comete un ruido de cuantificación (dependerá del número de bits empleado)



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



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

- 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

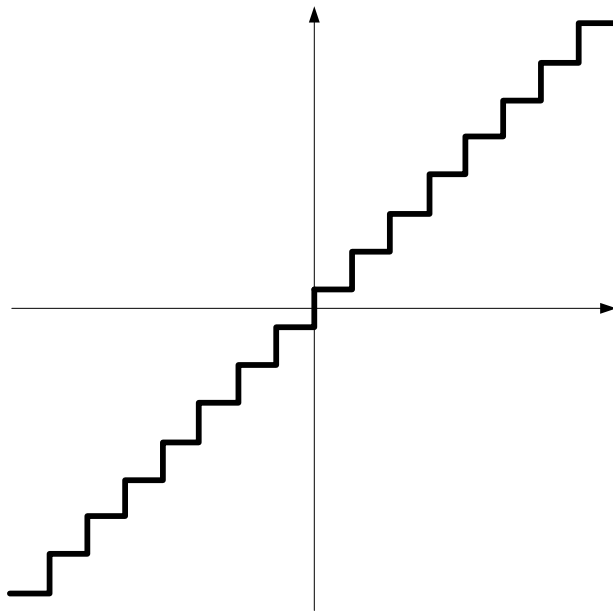
$$\text{SNR} = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_n^2} = \frac{\frac{(2E_{\max})^2}{12}}{\frac{1}{12} \left(\frac{2E_{\max}}{2^B} \right)^2} = 2^{2B}$$

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

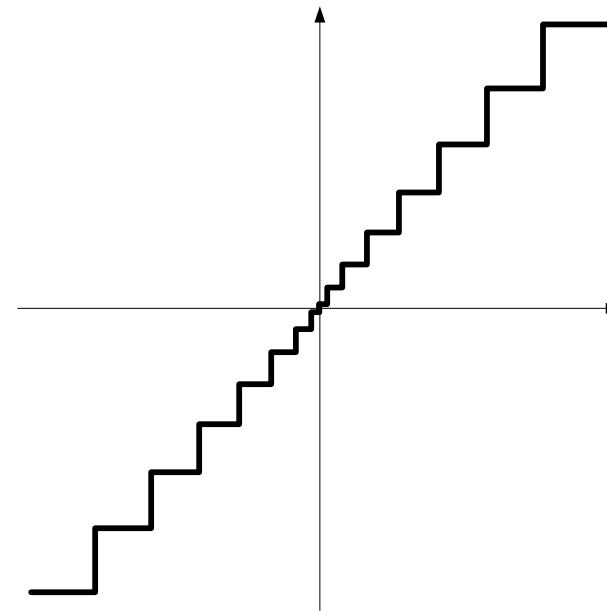
- Se mejora 6 dB por cada bit que se incorpore al cuantificador
- Hay que tener en cuenta también el nivel de sobrecarga (señal que se ‘sale’ del rango del cuantificador)

Ruido de cuantificación

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



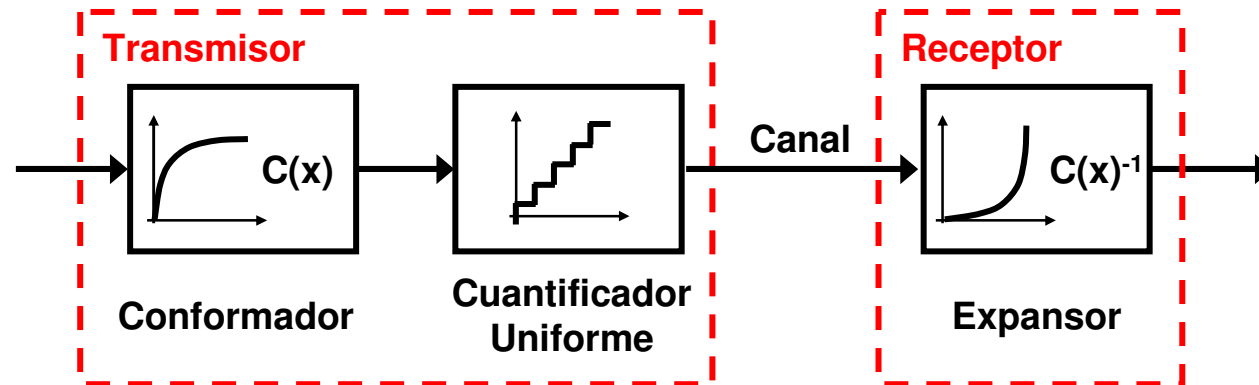
Cuantificación Uniforme



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

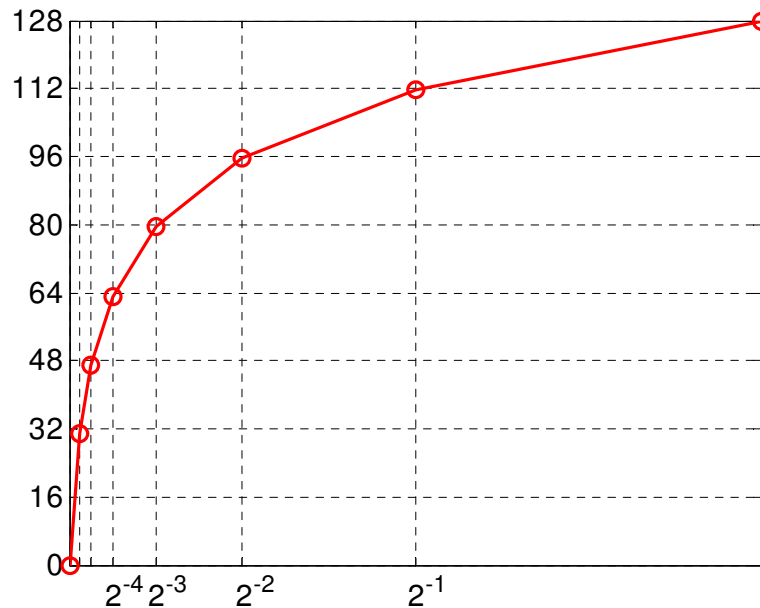
Ruido de cuantificación

Ley A (A = 87.56)

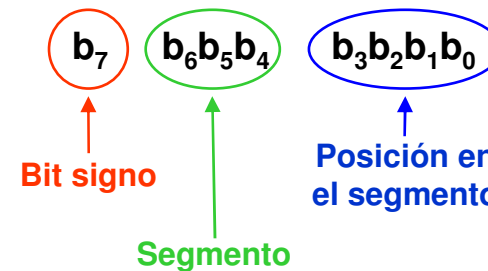
$$y = \begin{cases} \frac{1 + \ln(A \cdot |x|)}{1 + \ln A} \operatorname{sgn}(x) & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \\ \frac{A|x|}{1 + \ln A} \operatorname{sgn}(x) & 0 \leq |x| < \frac{1}{A} \end{cases}$$

Ley μ ($\mu = 255$)

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

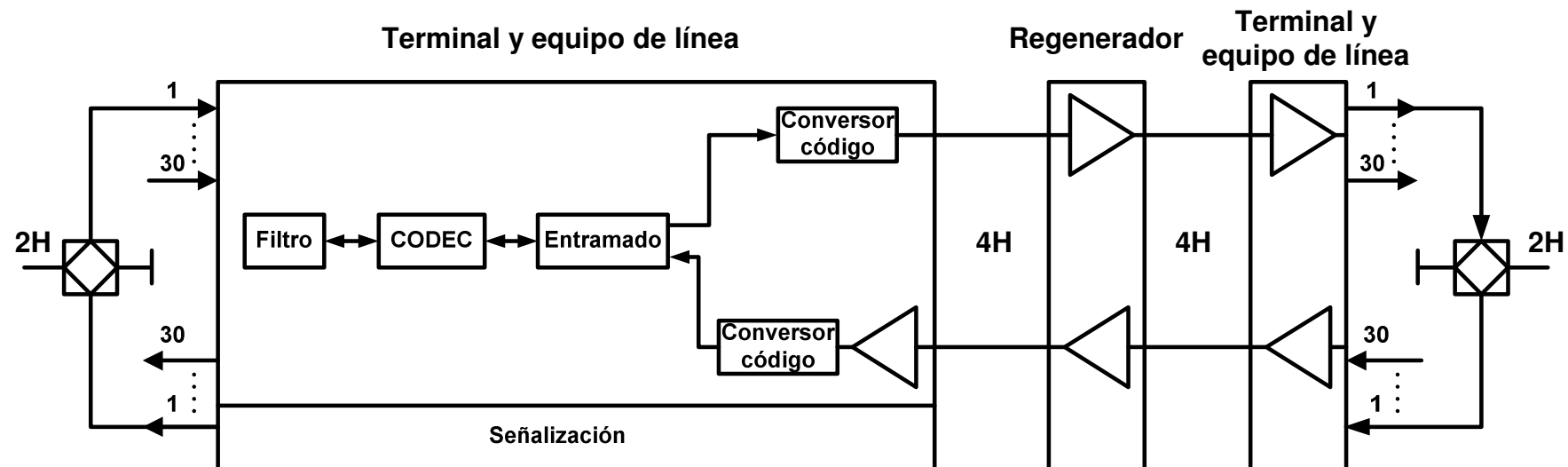


- La SNR es en ambos casos aproximadamente 38 dB
- Se implementa con una función lineal a tramos
 - En la ley A, se usan 7 segmentos (en los valores positivos)



Grupo primario PCM

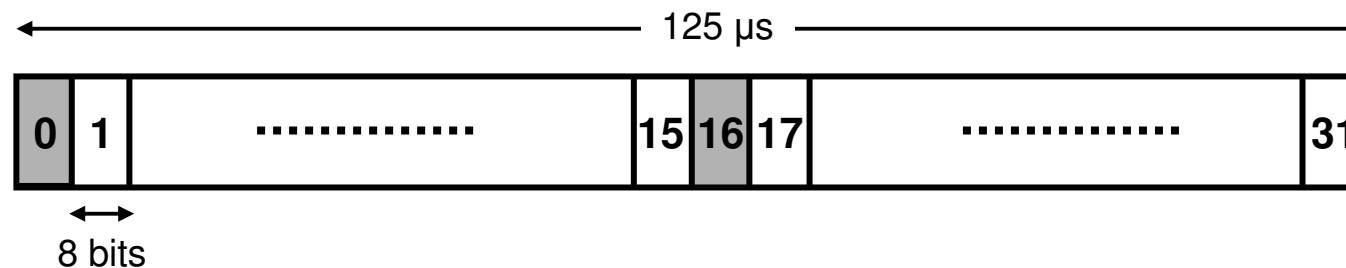
- Se combina la Modulación por Impulsos Modificados, MIC (*Pulse Code Modulation*) y TDM para transmitir varias señales telefónicas
- En la ITU se definen dos sistemas
 - G.732 (Europa), con 30 canales
 - G-733 (USA y Japón), con 24 canales
- Esquema de un sistema PCM



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
- Ranura 16 \rightarrow Señalización adicional
- Las otras 30 ranuras llevan la información de los canales de voz

NOTA

F: Informa de posibles fallos

X: Reservado

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

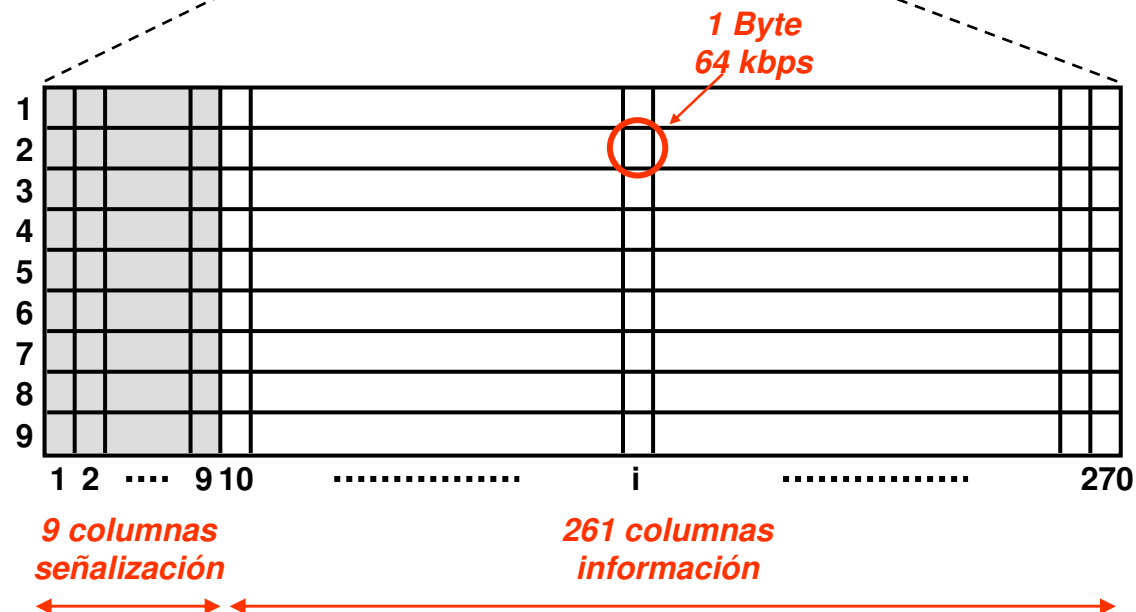
	Europa			USA		
	Circuitos	Velocidad (Mbps)	Nombre	Circuitos	Velocidad (Mbps)	Nombre
Nivel 0	1	64 kbps	-	1	64 kbps	-
Primer Nivel	30	2.048	E1	24	1.544	DS1/T1
Segundo Nivel	120	8.448	E2	96	6.312	DS2/T2
Tercer Nivel	480	34.368	E3	672	44.736	DS3/T3
Cuarto Nivel	1920	139.264	E4	4032	274.176	DS4/T4
Quinto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

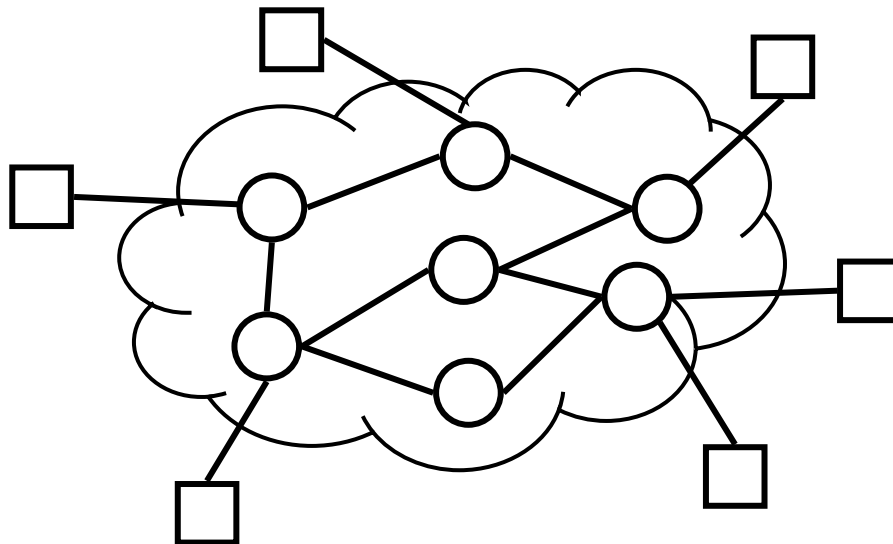


Contenidos

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

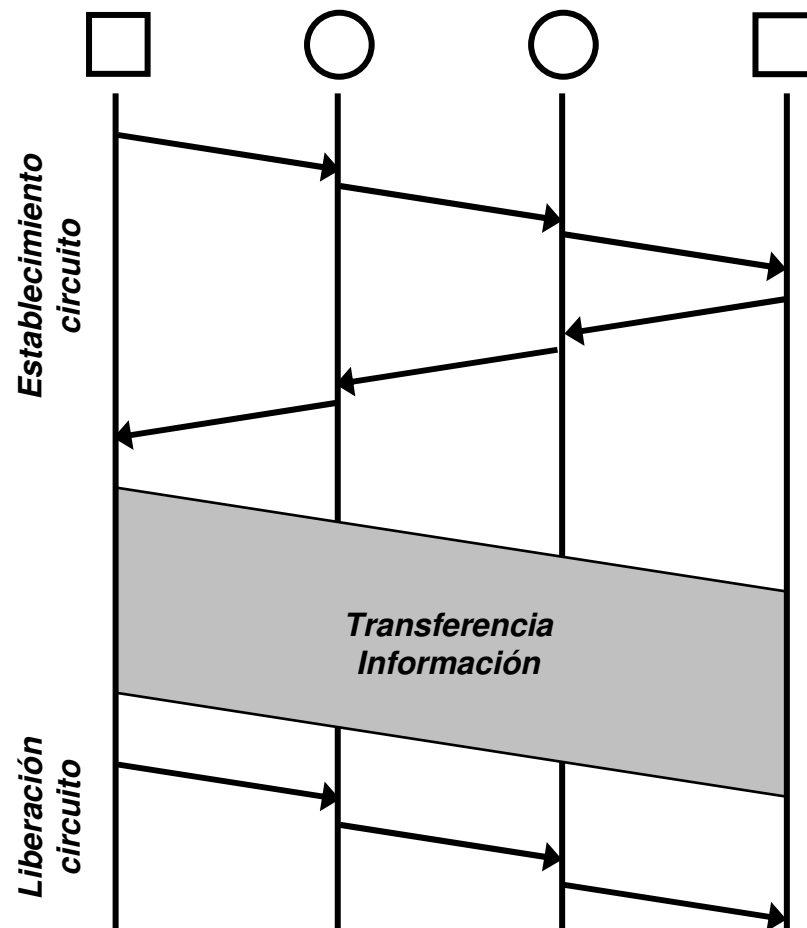


- Los dispositivos que se conectan a la red son las **estaciones**
 - Generan y reciben datos
- Los dispositivos que llevan a cabo la conmutación en la red son los **nodos**
 - Hay nodos que no están conectados con ninguna estación, y sólo realizan funciones de conmutación

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

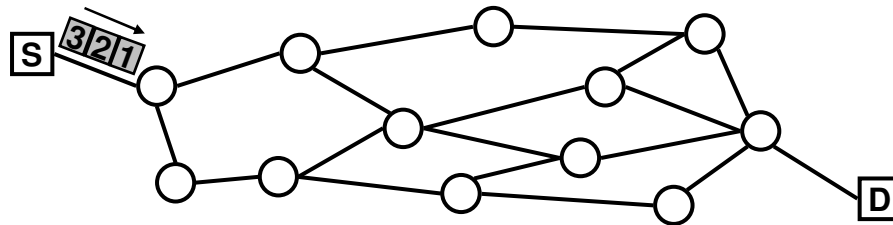
- Para solventar los problemas de la conmutación de mensajes, éstos se dividen en unidades lógicas más pequeñas: **PAQUETES**
 - Cada paquete lleva una parte de la información a transmitir y ciertos datos de control (para que la red pueda encontrar un camino válido al destino)
- Los paquetes tienen un 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

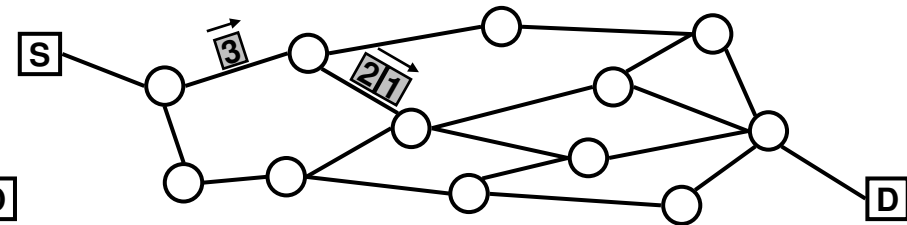
- Conmutación de paquetes en modo ‘datagrama’
 - Cada paquete viaja de manera independiente por la red: no siguen la misma ruta
 - Llegada ‘no ordenada’ al nodo de salida, que los ordena antes de entregarlos al destino (en algunas ocasiones los ordenaría el propio destino)
 - No hay fase de establecimiento
 - 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)

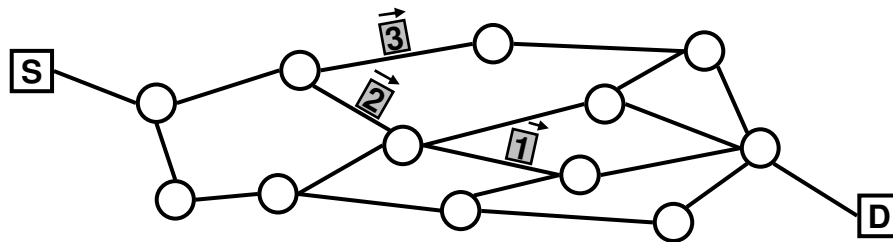
Conmutación de paquetes



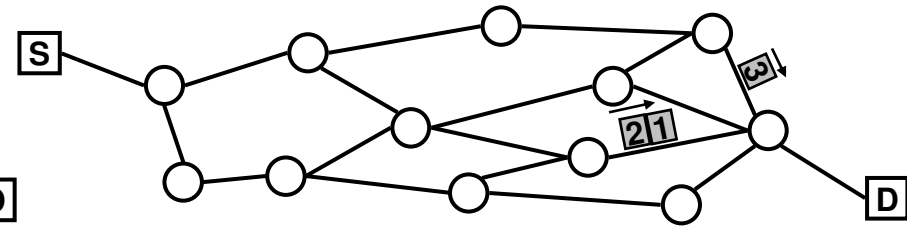
(1)



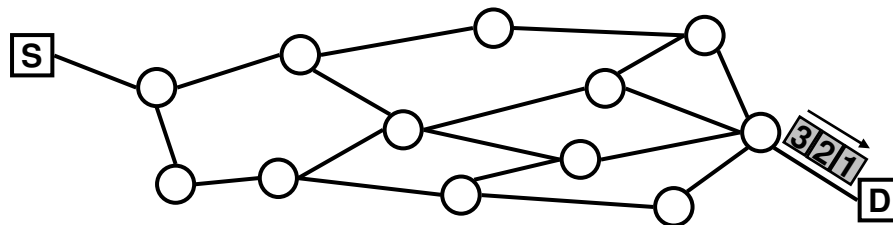
(2)



(3)



(4)

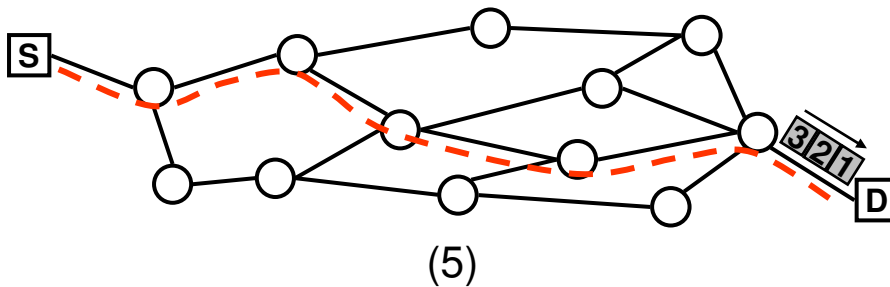
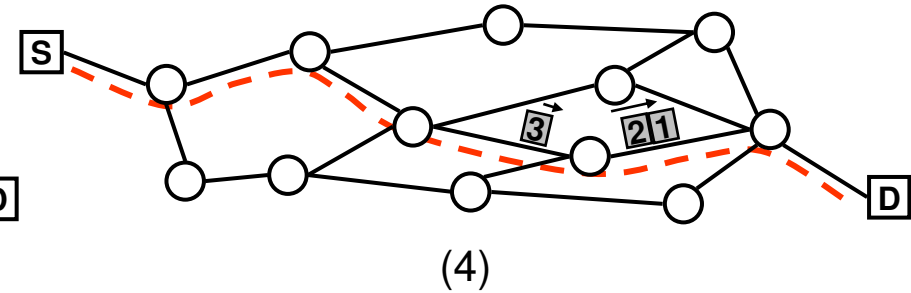
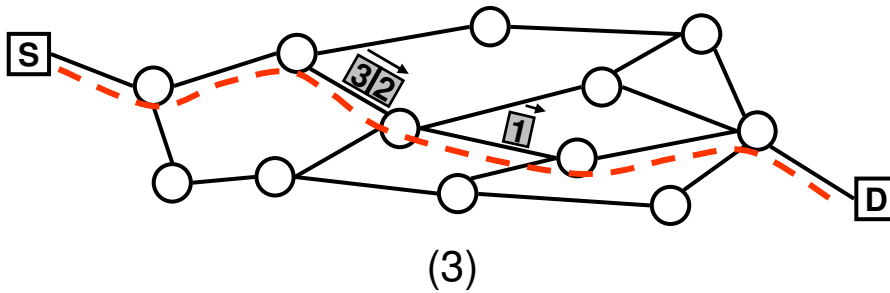
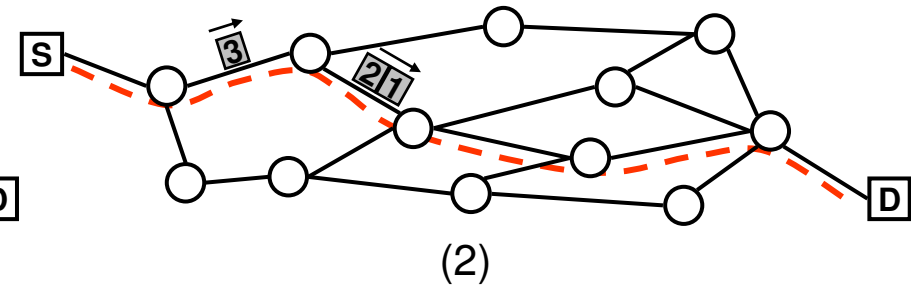
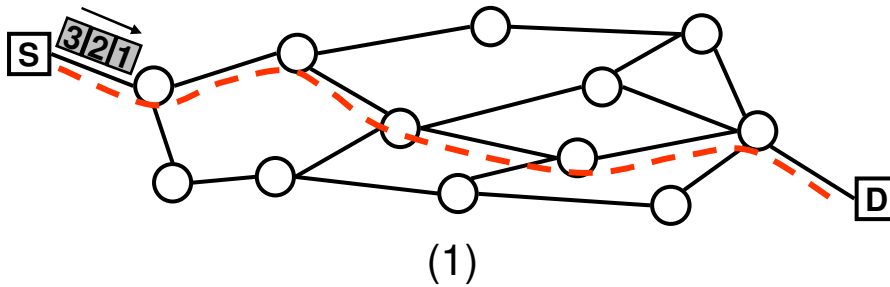


(5)

▪ Modo datagrama

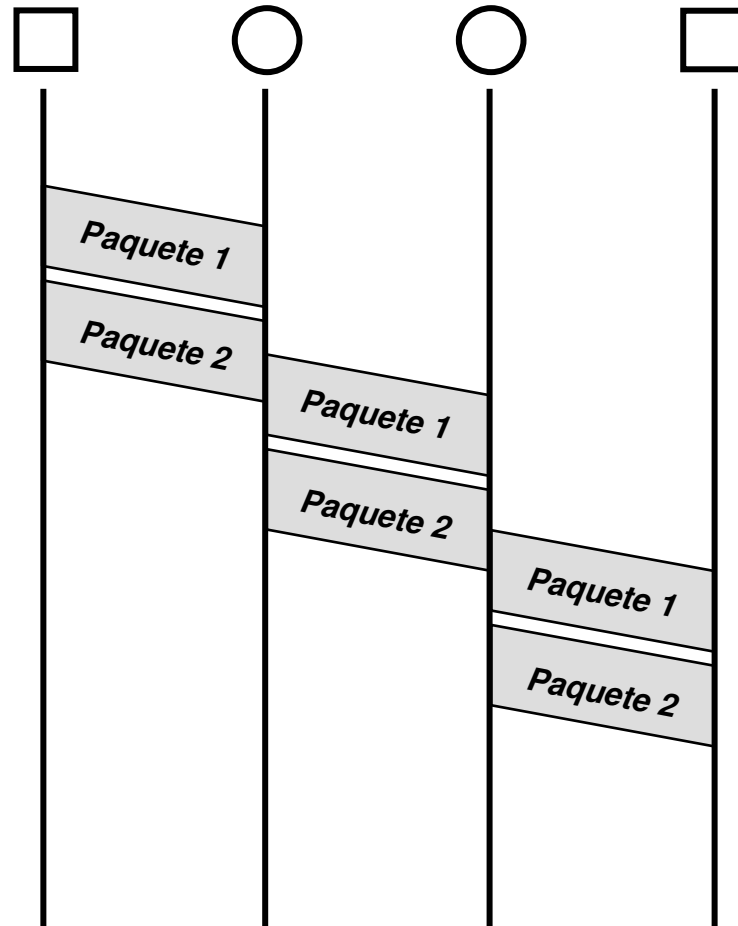
- Los paquetes no siguen la misma ruta
- Viajan de manera 'independiente' por la red

Conmutación de paquetes

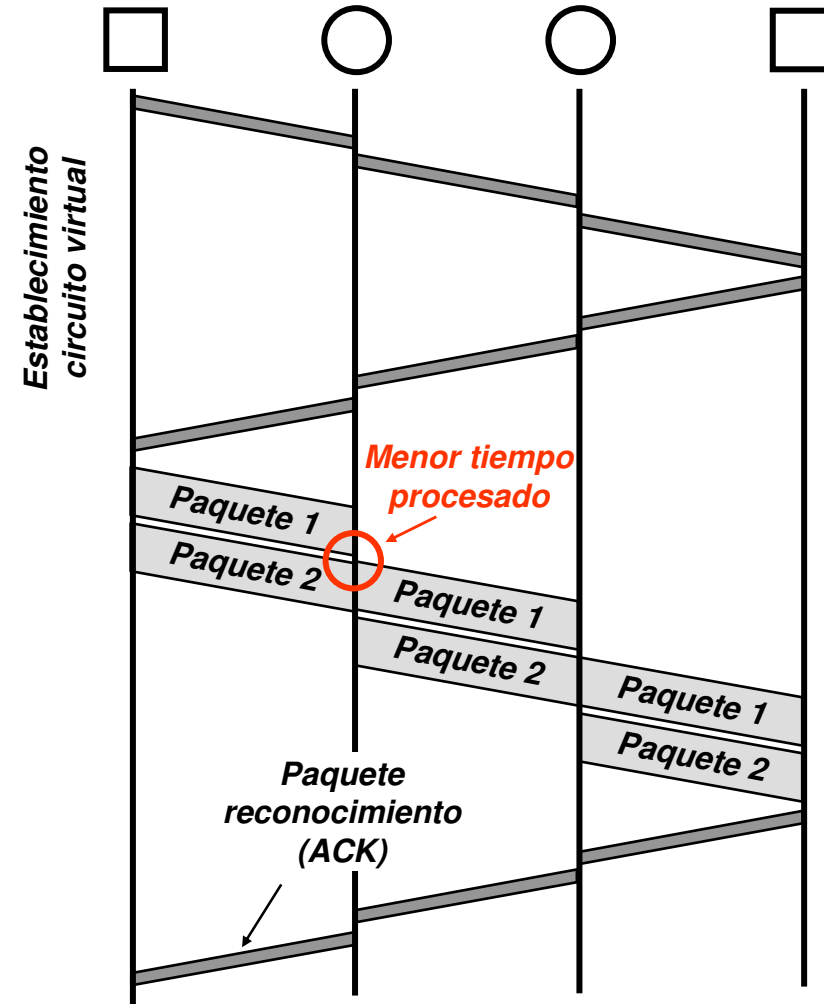


- Modo circuito virtual
 - Los paquetes utilizan la misma ruta para alcanzar el destino

Conmutación de paquetes



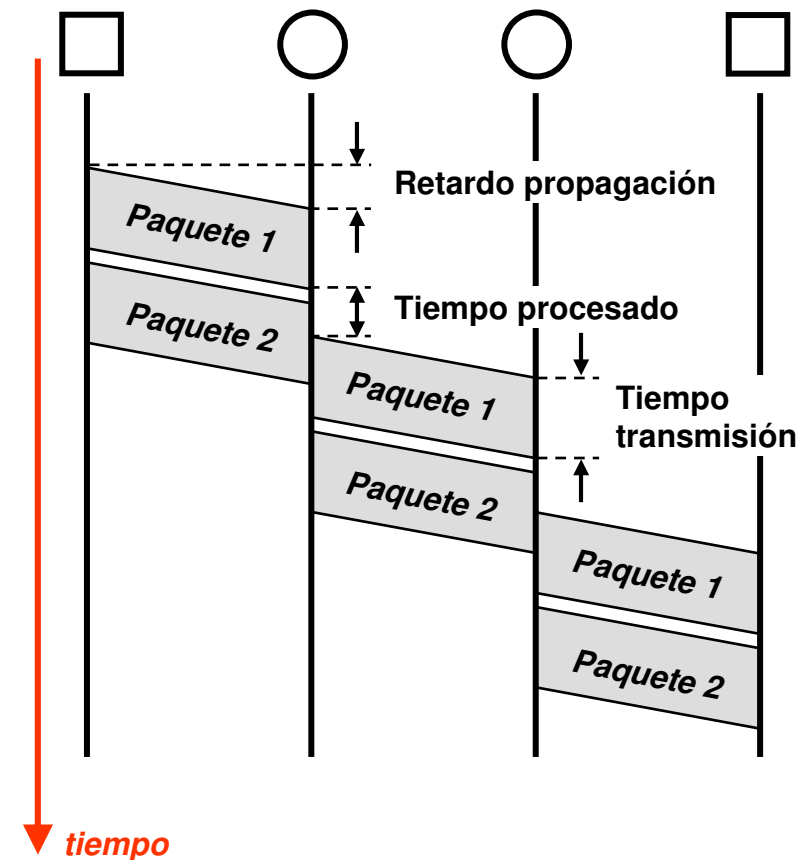
Modo datagrama



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



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

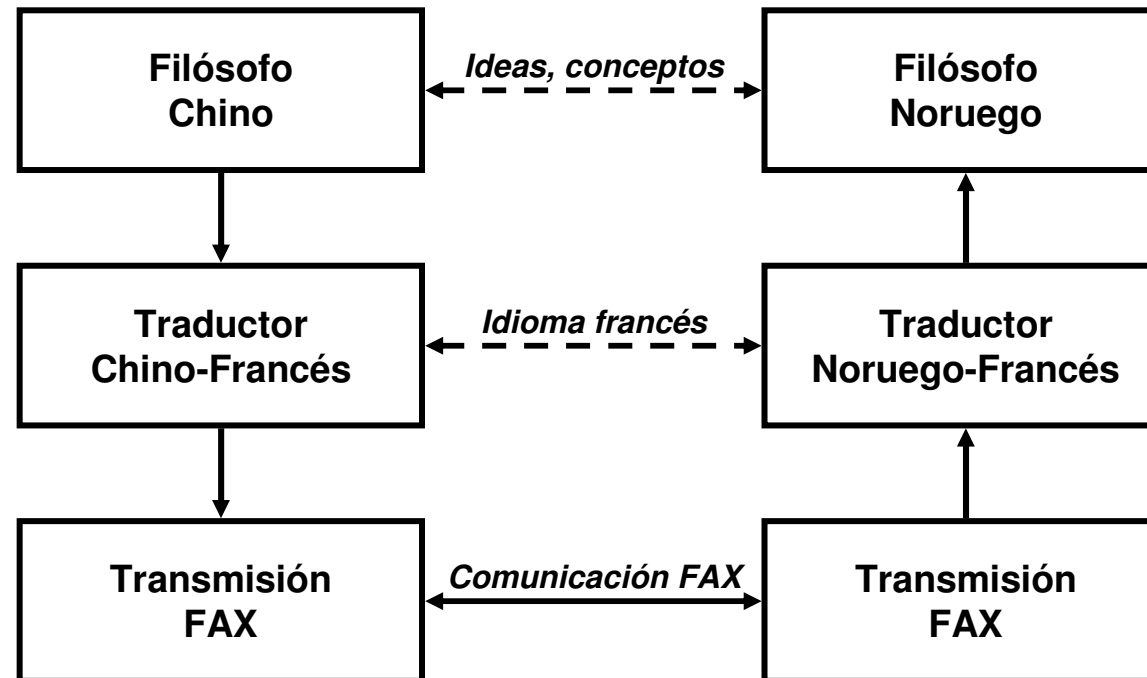
Contenidos

- 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

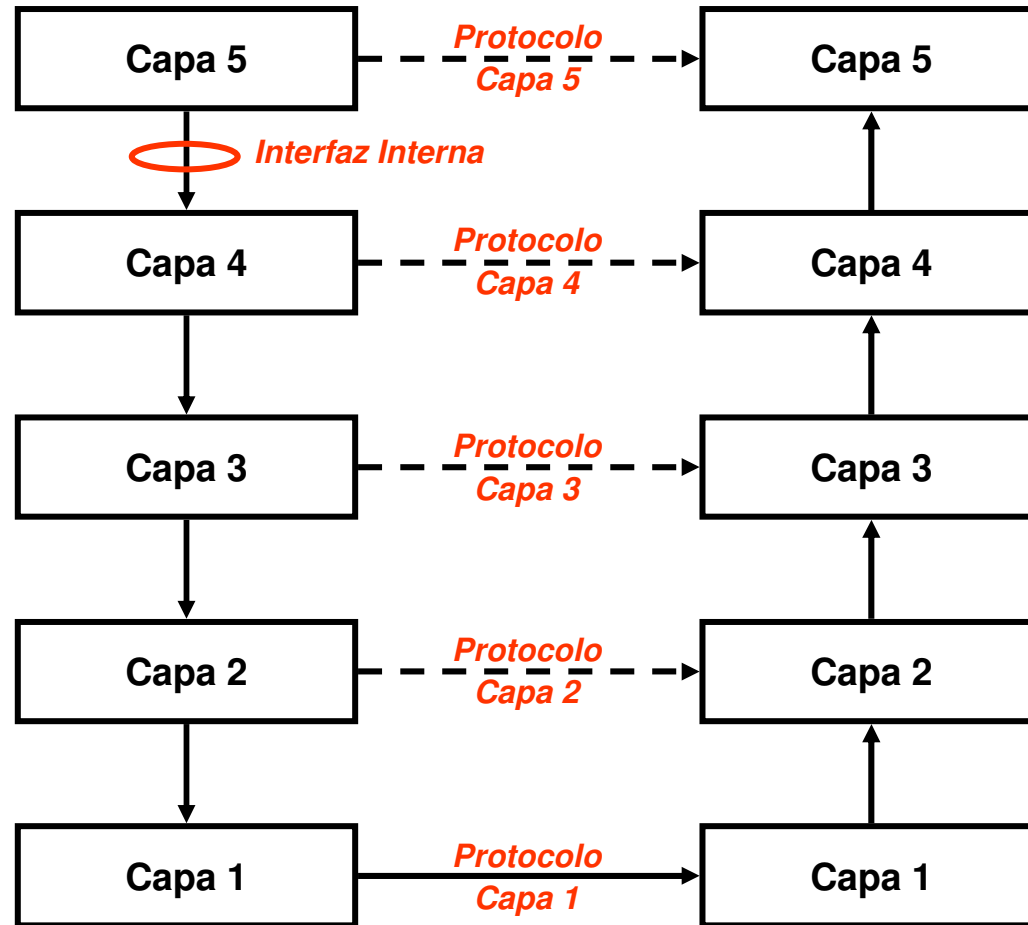
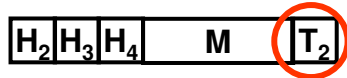
Mensaje generado por la aplicación (Capa 5)



Cabecera capa 4



Cola capa 2



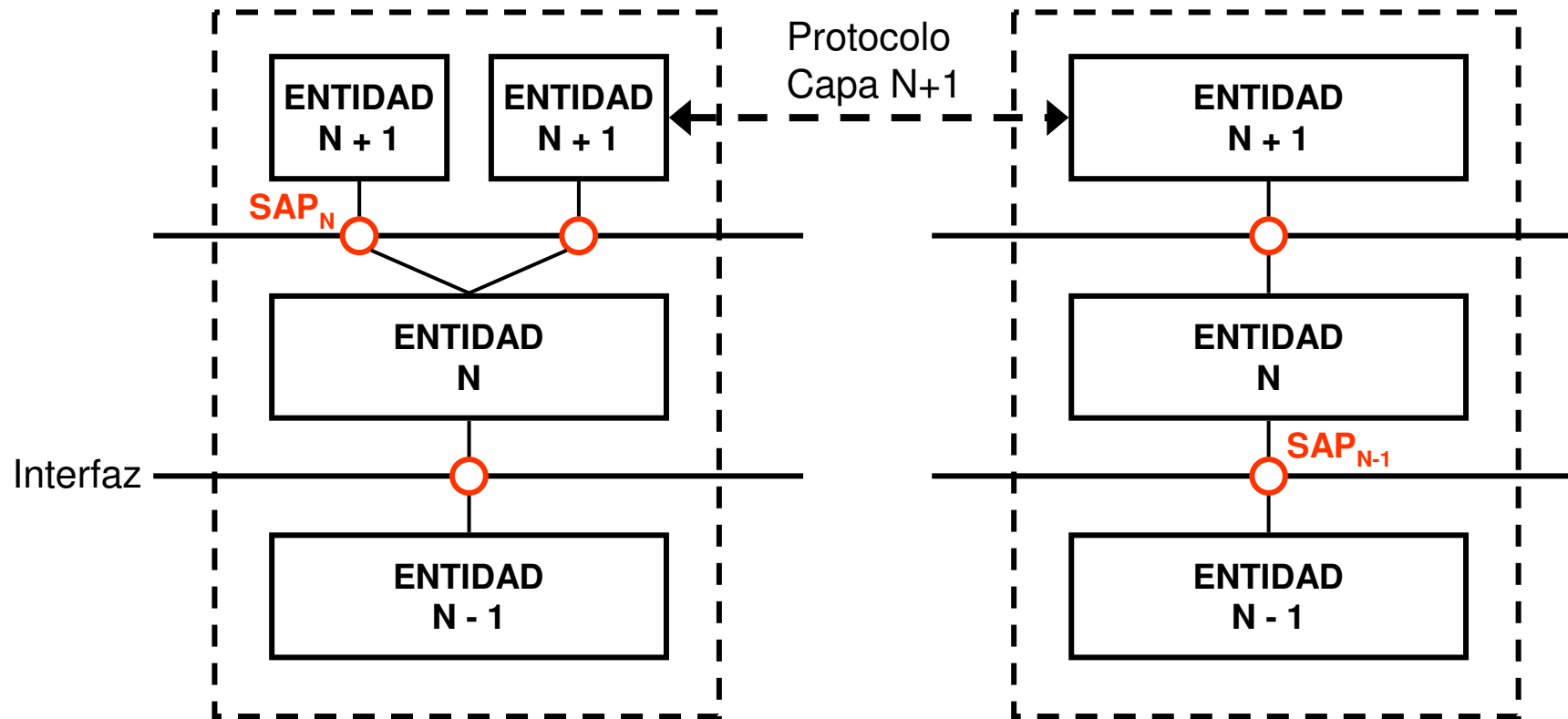
Modelo OSI

- 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	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones ejecutándose en las diferentes máquinas
CAPA 6 Presentación	<ul style="list-style-type: none"> • Representación y formato de los datos
CAPA 5 Sesión	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión del diálogo entre transmisor y receptor
CAPA 4 Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Control extremo a extremo de la comunicación • Comunicación fiable y segura
CAPA 3 Red	<ul style="list-style-type: none"> • Encaminamiento de la información a través de la red
CAPA 2 Enlace	<ul style="list-style-type: none"> • Control de errores sobre los enlaces directos entre nodos
CAPA 1 Físico	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión sobre el medio físico • Características eléctricas, funcionales, etc. Modulación, potencia,...

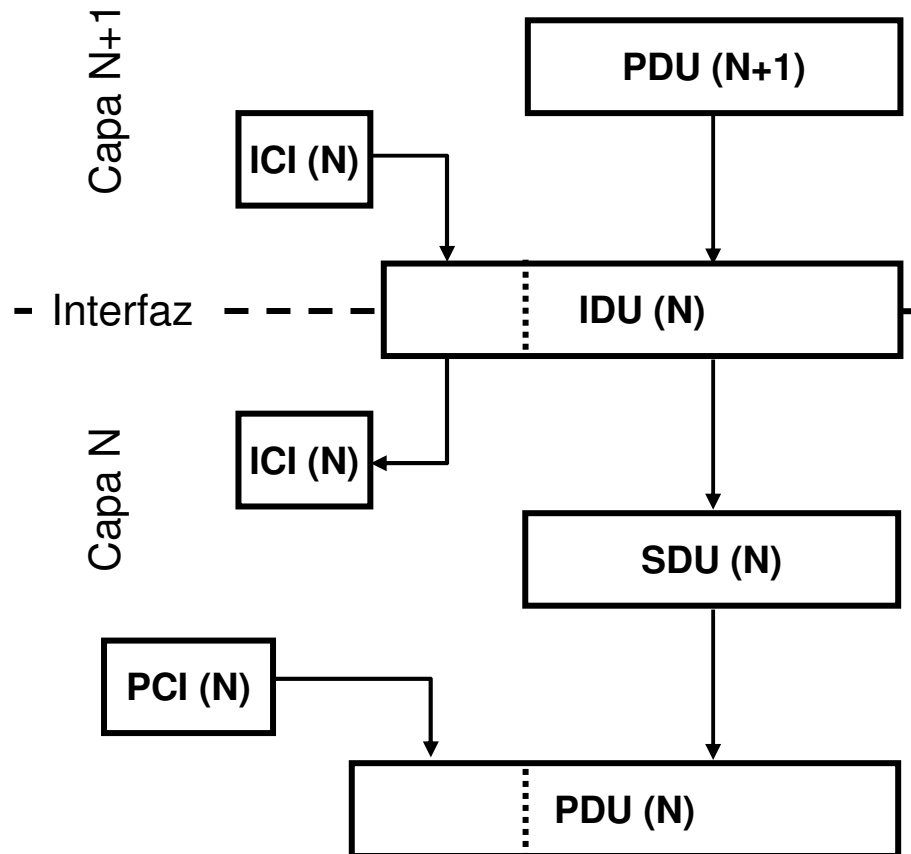
Modelo OSI: terminología



- Entidad de capa $N+1 \rightarrow$ 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 2000/2009
Africa	6.7 %	1360 %
Asia	18.5 %	516 %
Europa	50.1 %	283 %
Oriente Medio	23.7 %	1360 %
América del Norte	73.9 %	133 %
América Latina / Caribe	30.0 %	873 %
Oceanía	60.1 %	173 %
Global	24.7 %	362 %

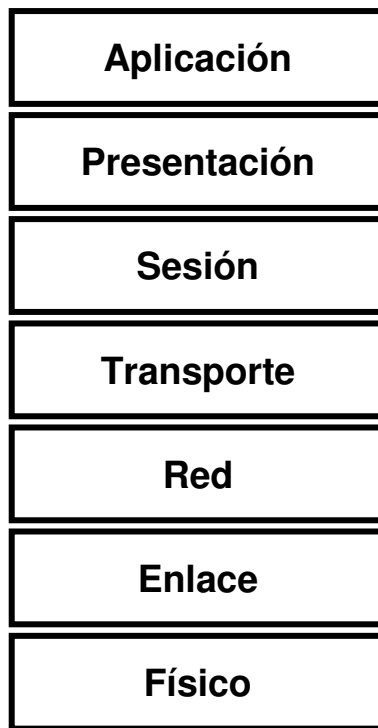
(1) Fuente: www.internetworldstats.com 2009

Modelo TCP/IP Vs. OSI

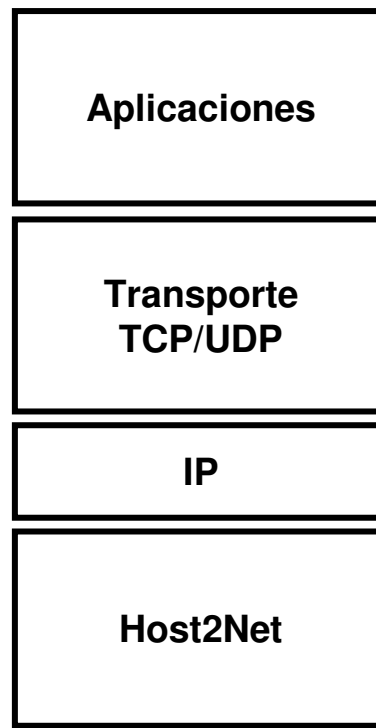
- En OSI el modelo se establece antes que los protocolos, mientras que en TPC/IP los protocolos son los que ‘marcan’ el modelo
 - OSI se puede utilizar para describir varias arquitecturas
 - El modelo TCP/IP no puede emplearse para describir cualquier arquitectura de comunicaciones
- Evolución temporal 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

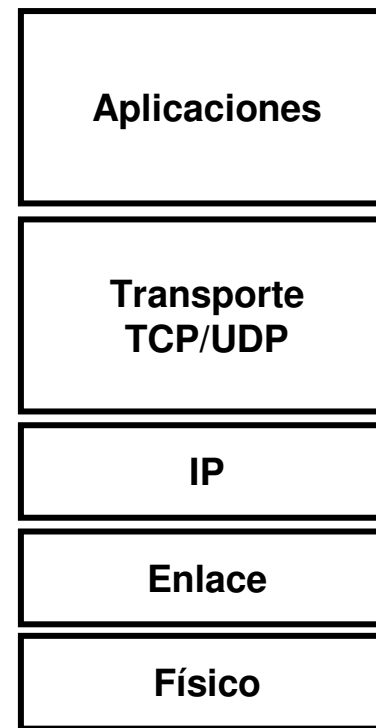
- Modelo de referencia TCP/IP



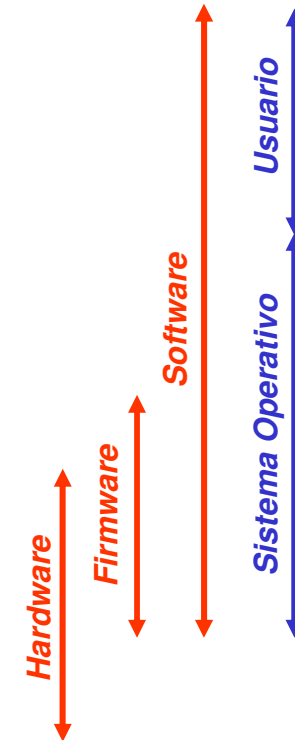
Modelo OSI



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
447 inhdr_error:
448     IP_INC_STATS_BH(IPSTATS_MIB_INHDRERRORS);
449 drop:
450     kfree_skb(skb);
451 out:
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
 - ...