

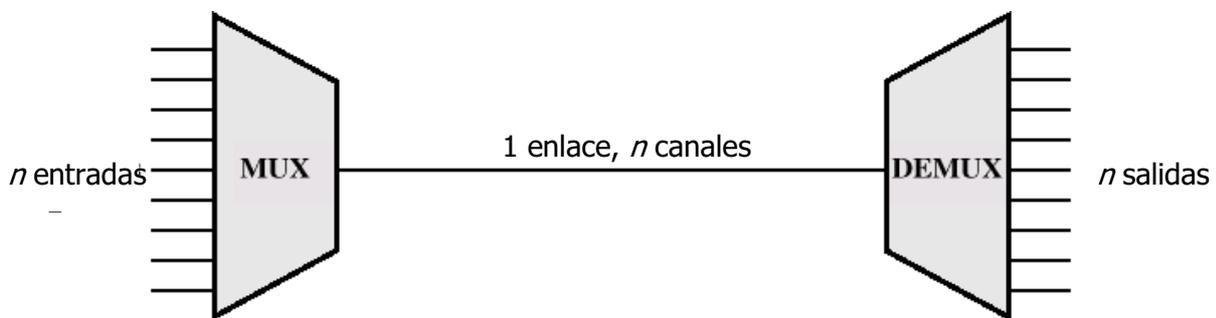
William Stallings

Comunicaciones y Redes de Computadores

Capítulo 8

Multiplexación

Multiplexación



Multiplexación por división en frecuencias

- FDM
- El ancho de banda útil del medio supera el ancho de banda requerido del canal.
- Cada señal se modula con una frecuencia portadora diferente.
- Las frecuencias portadoras están separadas de manera que las señales no se solapen (bandas guardas o de seguridad).
- Ejemplo: la radio convencional.
- Asignación de canal, incluso si no hay datos.

Diagrama de multiplexación por división en frecuencias

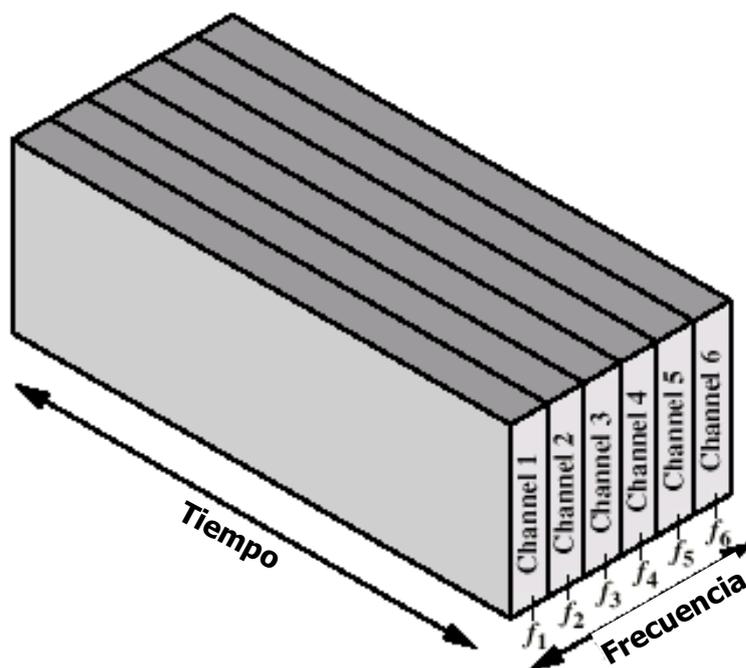
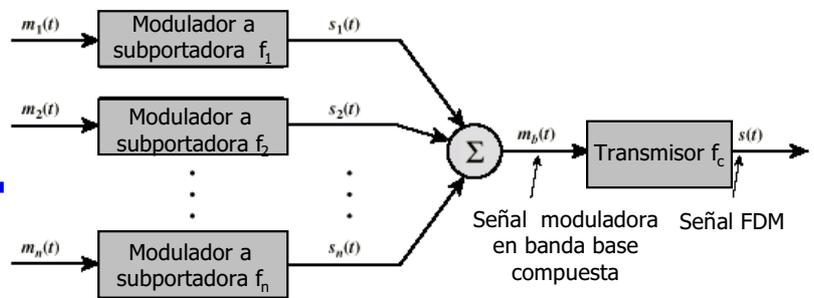
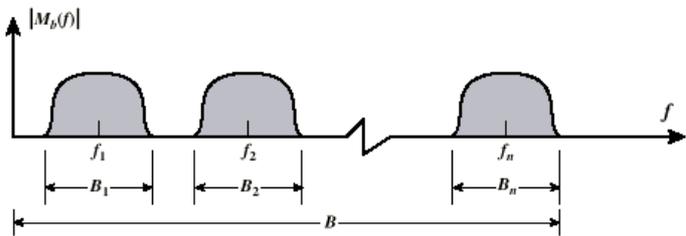


Figura 8.2.(a). FDM

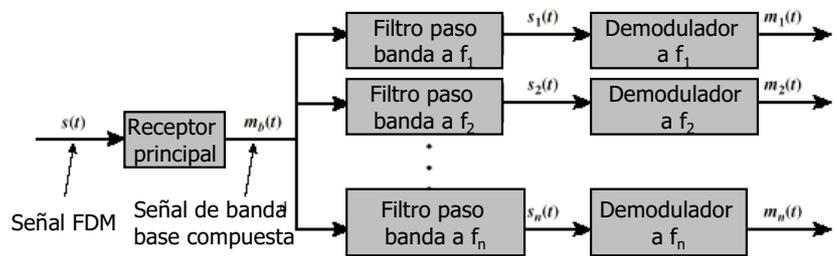
Sistema FDM



(a) Transmisor

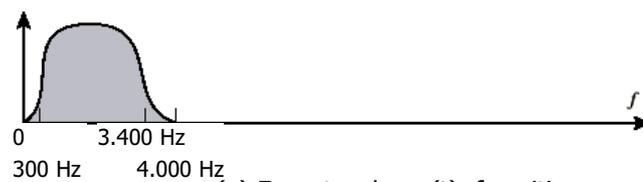


(b) Espectro de la señal moduladora en banda base compuesta

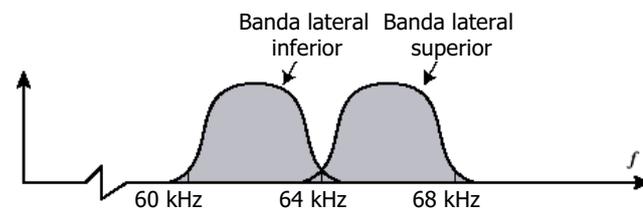


(c)Receptor

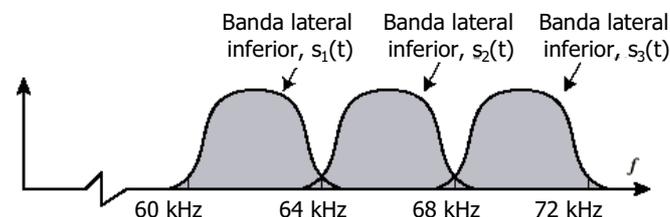
FDM de tres señales en la banda de voz



(a) Espectro de $m_1(t)$, f positivas



(b) Espectro de $s_1(t)$ para $f_1 = 6$ kHz



(c) Espectro de la señal compuesta usando subportadoras de 64 kHz, 68 kHz y 72 kHz

Sistemas con portadora analógica

- AT&T (en Estados Unidos).
- Diseñaron una jerarquía de esquemas FDM.
- Grupo:
 - 12 canales de voz (con 4 kHz cada uno) = 48 kHz
 - Espectro: 60 kHz hasta 108 kHz
- Supergrupo:
 - 60 canales de voz.
 - FDM de 5 señales de grupo con portadoras de entre 420 kHz y 612 kHz
- Grupo maestro:
 - 10 supergrupos.

Multiplexación por división en el tiempo síncrona

- La velocidad de transmisión por el medio excede la velocidad de las señales digitales a transmitir.
- Mezcla temporal de varias señales digitales.
- El proceso de mezcla puede ser a nivel de bits o en bloques de octetos.
- Las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes.
- Las ranuras temporales se asignan, incluso, si no hay datos.
- Las ranuras temporales no se tienen que distribuir de manera igualitaria entre las fuentes.

Multiplexación por división en el tiempo

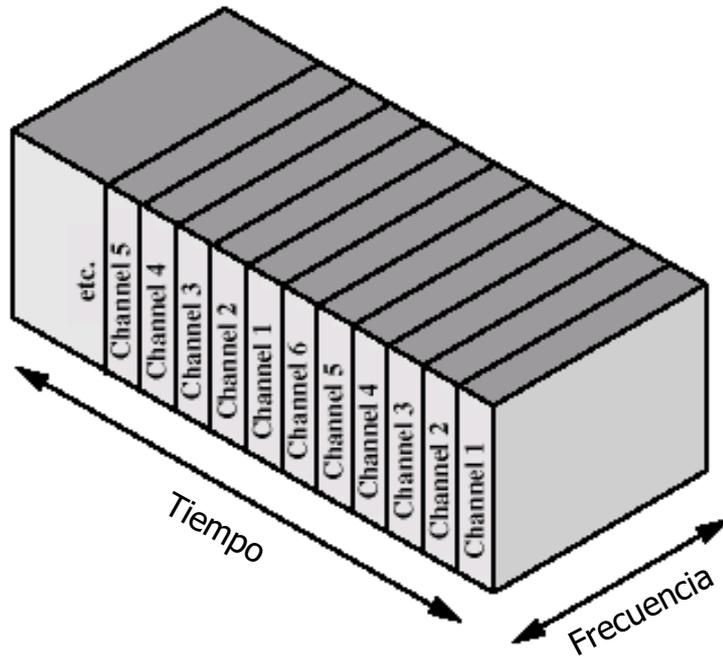
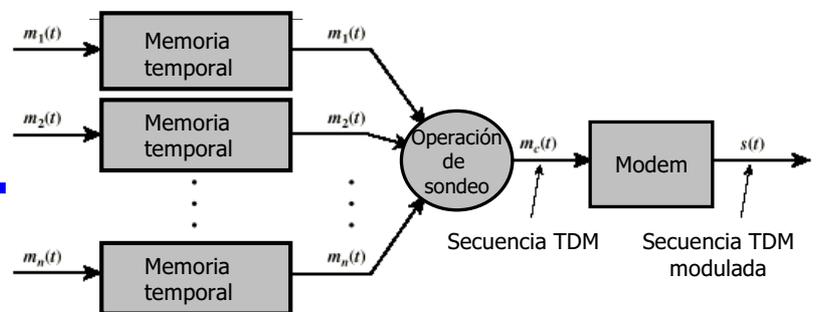


Figura 8.2.(b). TDM.

Sistema TDM

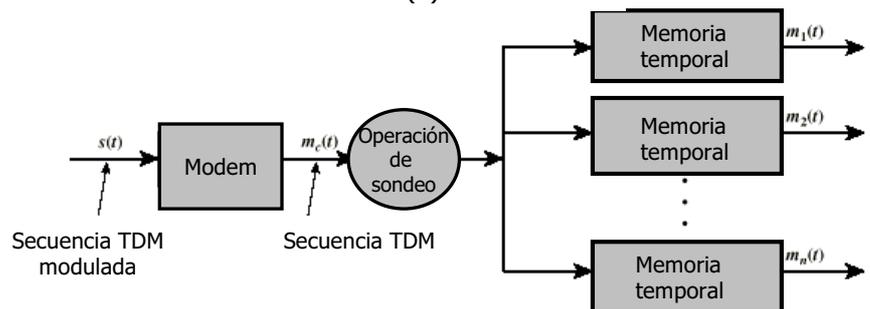


(a) Transmisor



Ranura temporal: puede estar vacía u ocupada

(b) Tramas TDM

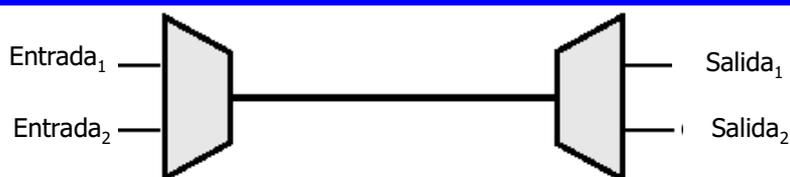


(c) Receptor

Control del enlace en TDM

- No contiene cabeceras y colas.
- No se necesita un control como el de un protocolo de enlace de datos.
- Control de flujo:
 - La velocidad de datos en la línea del multiplexor es fija.
 - Si un canal receptor no puede recibir datos, los otros lo harán.
 - La fuente correspondiente se debe apagar.
 - Esto deja ranuras libres.
- Control de errores:
 - Los errores son detectados y manejados por sistemas de canales individuales.

Control del enlace en canales TDM



(a) Configuración

Entrada₁ F₁ f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁ f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁

Entrada₂ ... F₂ f₂ f₂ d₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂ f₂ f₂ d₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂

(b) Cadenas de datos de entrada

... f₂ F₁ d₂ f₁ d₂ f₁ d₂ d₁ d₂ d₁ C₂ d₁ A₂ C₁ F₂ A₁ f₂ F₁ f₂ f₁ d₂ f₁ d₂ d₁ d₂ d₁ d₂ d₁ d₂ d₁ d₂ d₁ C₂ C₁ A₂ A₁ F₂ F₁

(c) Cadenas de datos multiplexada

Leyenda: F = campo delimitador d = un octeto del campo de datos
 A = campo de direcciones f = un octeto del campo FCS
 C = campo de control

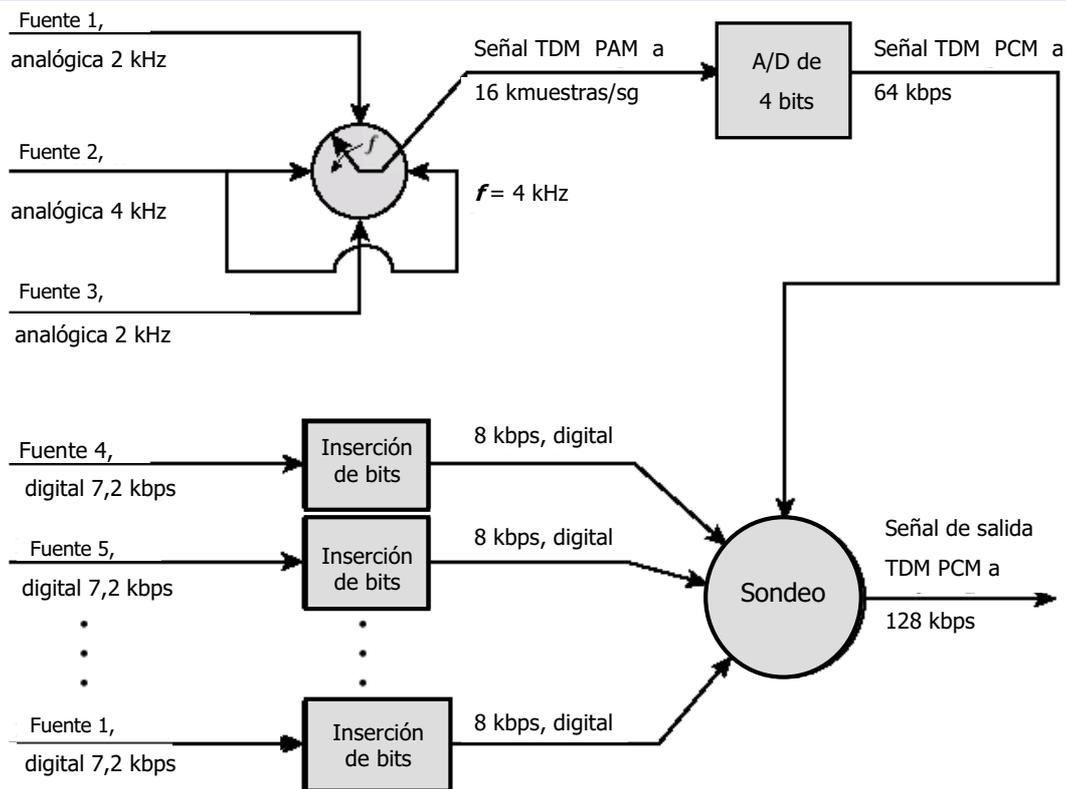
Delimitación de tramas

- No se especifican los indicadores o caracteres SYNC para delimitar las tramas TDM.
- Es necesario un método para asegurar la sincronización de las tramas.
- Delimitación por dígitos añadidos:
 - Un bit de control en cada trama TDM:
 - Se parece a otro canal tal como el "canal de control".
 - Se usa una combinación predefinida de bits a modo de canal de control.
 - Ejemplo: bits alternantes 01010101..., que resultan poco probable en un canal de datos.
 - El receptor compara los bits de entrada en una determinada posición con el patrón *sync*.

Inserción de bits

- Problema: sincronización de las fuentes de datos.
- Variación en los relojes de las fuentes.
- Velocidades de datos no relacionadas por un número racional simple.
- Solución: Inserción de bits.
 - La velocidad de salida del multiplexor (excluyendo los bits de delimitación) es mayor que la suma de las velocidades de entrada.
 - Inclusión de pulsos o bits adicionales en cada señal de entrada hasta que se ajuste al reloj local.
 - Inclusión de pulsos en posiciones fijas dentro de la trama y eliminados en el multiplexador.

TDM para fuentes analógicas y digitales



Sistemas con portadora digital

- Se desarrolló una jerarquía de estructuras TDM.
- Este sistema se ha adoptado en Estados Unidos, Canadá y Japón.
- ITU-T usa un sistema similar (aunque no idéntico).
- El sistema de Estados Unidos se basa en el formato de transmisión DS-1.
- En este formato se multiplexan 24 canales.
- Cada trama contiene 8 bits por canal, más un bit de delimitación.
- 193 bits por trama.

Sistemas con portadora digital

- Para transmisiones de voz, cada canal contiene una palabra de datos de voz digitalizada (PCM a una velocidad de 8.000 muestras por segundo):
 - Velocidad $8.000 \times 193 = 1.544$ Mbps.
 - En cinco de cada seis tramas se utilizan muestras PCM de 8 bits.
 - Cada 6 tramas, cada uno de los canales contiene una palabra PCM de 7 bits más un *bit de señalización*.
 - Los bits de señalización forman una secuencia para cada canal de voz que contiene información de control de red y de encaminamiento.
- Formato similar para los datos digitales:
 - 23 canales de datos:
 - En cada canal 7 bits por trama más un bit de indicación si hay datos de usuario o de control del sistema.
 - El canal 24 es un *sync*.

Mezcla de datos

- El formato DS-1 se puede usar para transportar una mezcla de canales de voz y de datos.
- Uso de los 24 canales.
- No existe octeto *sync*.
- Puede mezclar los bits procedentes de entradas DS-1:
 - El sistema DS-2 combina cuatro entradas DS-1 en una cadena de 6.312 Mbps.

Interfaz usuario - red en RDSI

- RDSI permite a un usuario multiplexar varios dispositivos a través de una misma línea de red RDSI.
- Dos interfaces:
 - Interfaz básica.
 - Interfaz primaria.

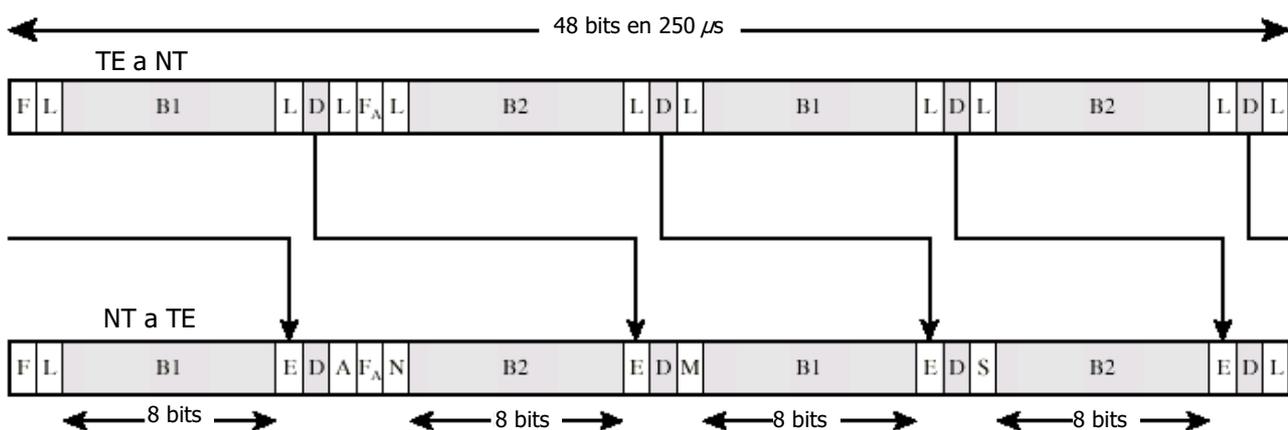
Acceso básico RDSI

- Intercambio de datos digitales entre el abonado y el equipo terminal mediante transmisión *full-duplex*.
- Línea física independiente para cada sentido.
- Esquema de codificación pseudoternario:
 - 1=no tensión, 0=pulso positivo o negativo de 750 mV +/-10%.
- La velocidad es de 192 kbps.
- Consta de dos canales B de 64 kbps y un canal D de 16 kbps.
- Esto da como resultado una carga de 144 kbps multiplexada sobre una interfaz de 192 kbps.
- La capacidad restante se usa para la delimitación y sincronización.

Acceso básico RDSI

- El canal B es el canal básico de usuario.
- Se puede utilizar para transmitir datos digitales.
- Voz digital codificada PCM.
- Conexiones lógicas independientes de 64 kbps o distintos destinos.
- El canal D se puede utilizar para transportar información de control o para transmitir datos:
 - Secuencia de tramas LAPD.
- Cada trama tiene una longitud de 48 bits.
- Una trama cada 250 μ s.

Estructura de trama

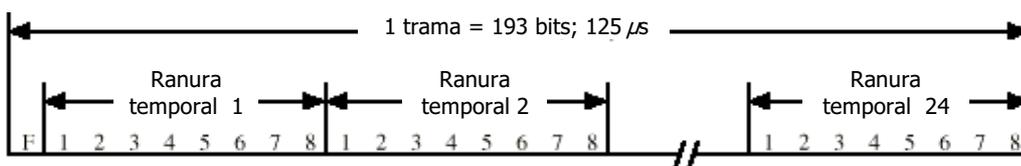


- | | |
|---|--------------------------------------|
| F = Bit de delimitación | B1 = Bits del canal B (16 por trama) |
| L = Bit de compensación DC | B2 = Bits del canal B (16 por trama) |
| E = Bit de eco del canal D | D = Bits del canal D (4 por trama) |
| A = Bit de activación | S = Bits sobrantes |
| F _A = Bit de delimitación auxiliar | |
| N = El inverso de F _A | |
| M = Bit de multidelimitación | |

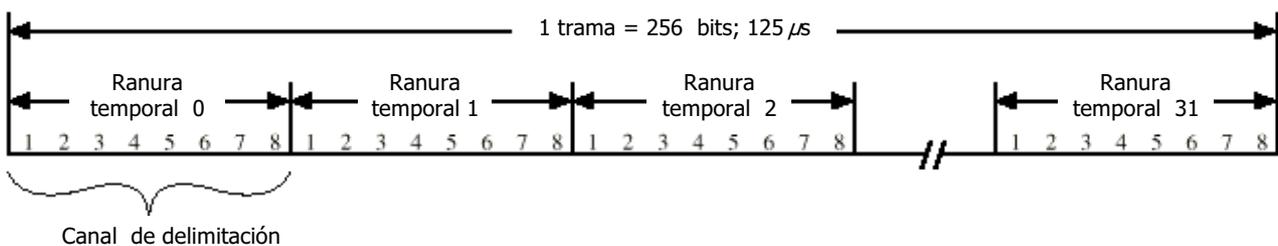
Acceso primario RDSI

- Configuración punto a punto.
- Permite la utilización de una PBX.
- Velocidad a 1,544 Mbps:
 - Basada en la estructura de transmisión norteamericana DS-1.
 - Usada en el servicio de transmisión T1.
 - 23 canales B y un canal D.
- Velocidad a 2,048 Mbps:
 - Basada en la estructura de transmisión europea.
 - 30 canales B y un canal D.
 - Esquema de codificación de línea AMI con HDB3.

Formatos de trama para el acceso primario RDSI



(a) Interfaz a 1,544 Mbps

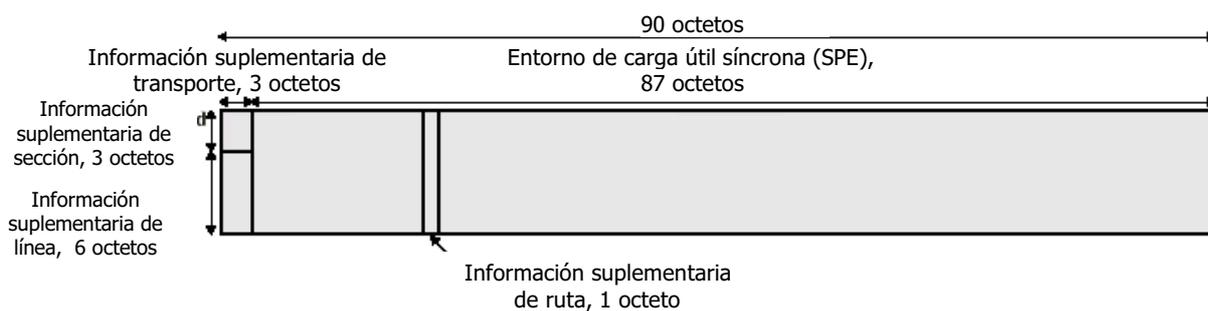


(b) Interfaz a 2,048 Mbps

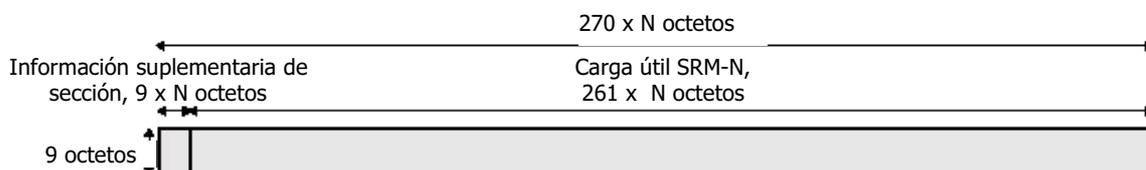
Sonet/SDH

- Red óptica síncrona (ANSI).
- Jerarquía Digital Síncrona (publicada por ITU-T).
- Versión compatible.
- Jerarquía de señal:
 - STS-1 ("Synchronous Transport Signal level 1") u OC-1("Optical Carrier level 1").
 - 51,84 Mbps.
 - Transporta una señal DS-3 o un grupo de señales a velocidad inferior (DS1 DS1C DS2) y otras velocidades ITU-T (por ejemplo: 2,048 Mbps).
 - Se combinan varias señales STS-1 para formar una señal STS-N.
 - La velocidad menor en la jerarquía ITU-T es de 155,52 Mbps (STM-1).

Formatos de trama SONET/SDH

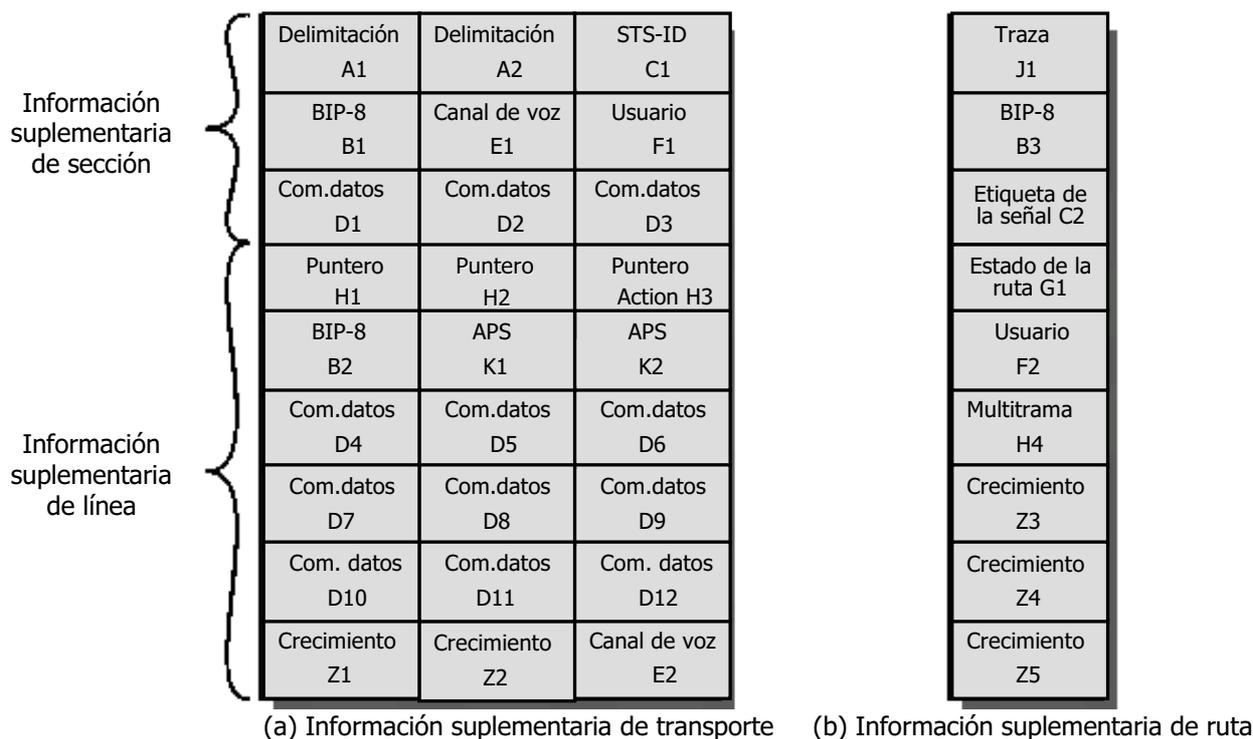


(a) Formato de trama STS-1



(b) Formato de trama STM-N

Octetos de información suplementaria en STS-1 de SONET



TDM estadística

- En una TDM síncrona se desaprovechan muchas de las ranuras temporales.
- La TDM estadística distribuye las ranuras de manera dinámica, basándose en la demanda.
- El multiplexor sondea las memorias de almacenamiento de entrada, aceptando datos hasta que se complete una trama.
- La velocidad de la línea multiplexada es menor que la suma de las velocidades de las líneas de entrada.

Formatos de trama en TDM estadística



(a) Trama completa



(b) Subtrama con una fuente por trama

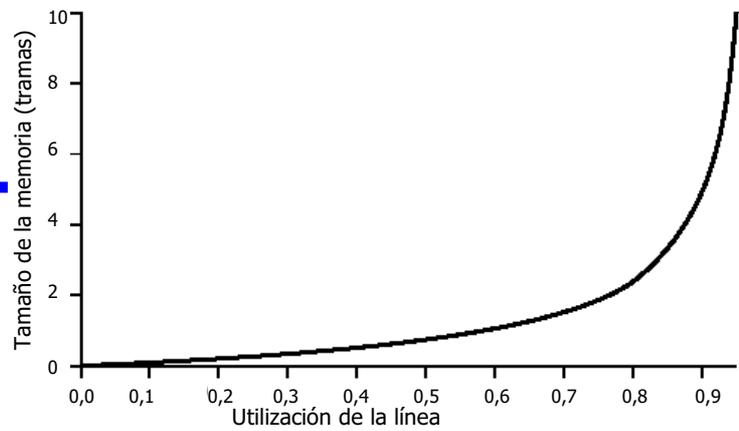


(c) Subtrama con varias fuentes por trama

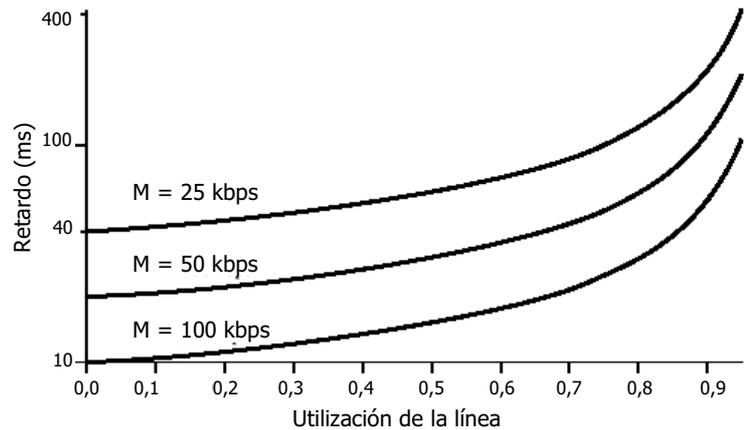
Prestaciones

- Velocidad de salida es menor que la suma de las velocidades de las entradas.
- Puede causar problemas durante periodos pico:
 - Almacenar temporalmente el exceso de datos de entrada.
 - Mantener el tamaño de la memoria temporal al mínimo para evitar que haya retardo.

Tamaño de la memoria temporal y retardo



(a) Tamaño medio de la memoria frente a utilización



(b) Retardo medio frente a utilización

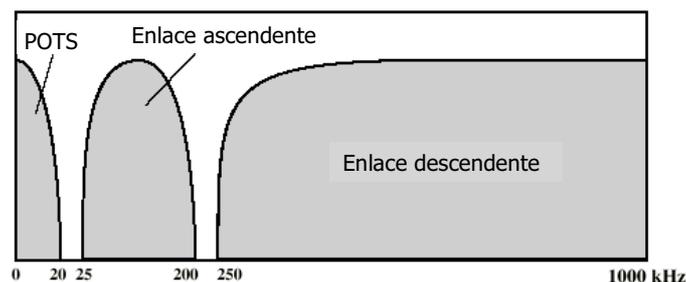
Línea de abonado digital asimétrica

- ADSL
- Enlace entre el abonado y la red:
 - Enlace a nivel local.
- Aprovecha el cable de par trenzado ya instalado:
 - Puede transmitir señales con espectro mucho más amplio.
 - 1 MHz o más.

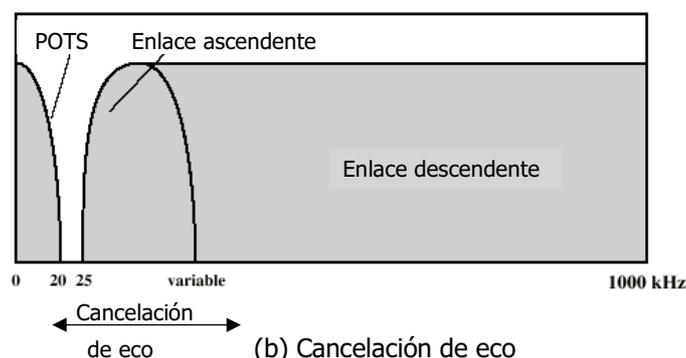
Diseño ADSL

- Asimétrico:
 - Mayor capacidad de transmisión en el enlace descendente que en el ascendente.
- Modulación por división en frecuencias:
 - Reserva de los 25 kHz inferiores para voz:
 - POTS ("Plain old telephone service").
 - Utilización de cancelación de eco o de FDM para dar cabida a dos bandas.
 - Uso de FDM en las bandas.
- Permite distancias de hasta 5,5 km.

Configuración de canales ADSL



(a) Multiplexación por división en frecuencias

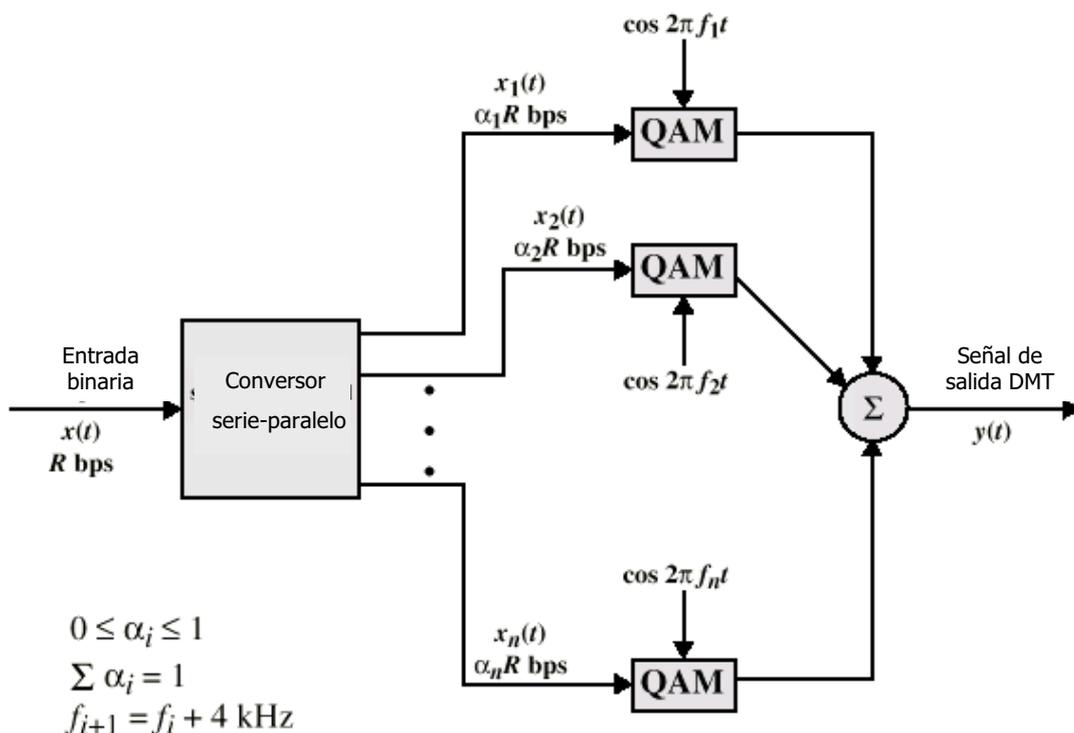


(b) Cancelación de eco

Multitono discreto

- DMT
- Utiliza varias señales portadora a diferentes frecuencias.
- Algunos bits en cada canal.
- Subcanales de 4 kHz.
- Envía señales de test y usa los subcanales para determinar la relación señal-ruido mejor.
- 256 subcanales descendentes de 4 kHz (60 kbps):
 - Transmite a una velocidad de 15,36 MHz.
 - El deterioro de la transmisión hace que se reduzca hasta 1,5-9 Mbps.

Transmisor DMT



xDSL

- Línea de abonado de alta velocidad.
- Línea de abonado digital de línea simple.
- Línea de abonado digital de muy alta velocidad (VDSL).

Lecturas recomendadas

- Stallings, W. *Comunicaciones y Redes de Computadores*, sexta edición. Madrid: Prentice Hall, 2000: Capítulo 8.
- Sitios web recomendados:
 - ADSL
 - SONET