

# Multiplexación

## Contenido

Multiplexación.....	1
MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS.....	2
Multiplexación por longitud de onda (WDM) <i>Wavelength Division Multiplexing</i> .....	4
MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA .....	5
Jerarquía digital plesiócrona .....	7
Jerarquía digital síncrona .....	8
MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA.....	9
LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA .....	10

- Para hacer un uso eficiente de las líneas de telecomunicaciones de alta velocidad se emplean técnicas de multiplexación, las cuales permiten que varias fuentes de transmisión compartan una capacidad de transmisión superior. Las dos formas usuales de multiplexación son las de división en frecuencias (FDM, Frequency-Division Multiplexing) y división en el tiempo (TDM, Time-Division Multiplexing).
- La multiplexación por división en frecuencias se puede usar con señales analógicas, de modo que se transmiten varias señales a través de este medio gracias a la asignación de una banda de frecuencia diferente para cada señal. El equipamiento de modulación es preciso para desplazar cada señal a la banda de frecuencia requerida, siendo necesarios, por su parte, los equipos de multiplexación para combinar las señales moduladas.
- La multiplexación por división en el tiempo síncrona se puede utilizar con señales digitales o con señales analógicas que transportan datos digitales. En esta forma de multiplexación, los datos procedentes de varias fuentes se transmiten en tramas repetitivas. Cada trama consta de un conjunto de ranuras temporales, asignándosele a cada fuente una o más ranuras por trama. El efecto obtenido es la mezcla de los bits de datos de las distintas fuentes.
- La multiplexación por división en el tiempo estadística proporciona un servicio generalmente más eficiente que la técnica TDM síncrona para el soporte a terminales. Las ranuras temporales en TDM estadística no están preasignadas a fuentes de datos concretas, sino que los datos de usuario se almacenan y transmiten tan rápido como es posible haciendo uso de las ranuras temporales disponibles.



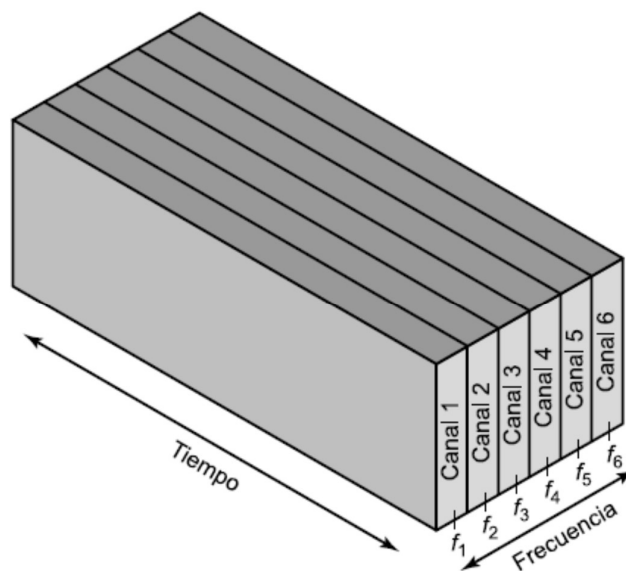
Figura 8.1. Multiplexación.

## MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

### CARACTERÍSTICAS

Es posible utilizar FDM cuando el ancho de banda útil del medio de transmisión supera el ancho de banda requerido por las señales a transmitir. Se pueden transmitir varias señales simultáneamente si cada una de ellas se modula con una frecuencia portadora diferente y las frecuencias portadoras están suficientemente separadas para que los anchos de banda de las señales no se solapen de forma importante.

Cada señal modulada precisa un cierto ancho de banda centrado alrededor de su frecuencia portadora y conocido como canal. Para evitar interferencias, los canales se separan mediante bandas guardas o de seguridad, las cuales son zonas no utilizadas del espectro.



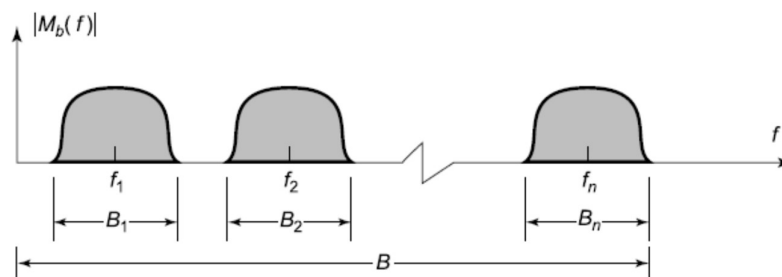
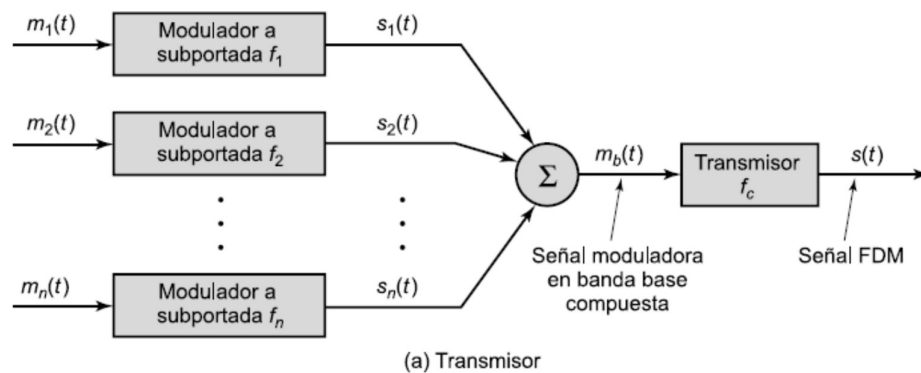
(a) Multiplexación por división en frecuencias

## Esquema general de FDM

Se multiplexan varias señales analógicas o digitales [ $m_i(t)$ ,  $i=1, n$ ] a través del mismo medio de transmisión. Para ello, cada señal  $m_i(t)$  se modula mediante una portadora  $f_i$ . Dado que se usan varias portadoras, cada una de ellas se denomina subportadora, pudiéndose hacer uso de cualquier tipo de modulación.

Las señales moduladas analógicas resultantes se suman para dar lugar a una señal  $m_b(t)$  en banda base compuesta. Para que este esquema funcione adecuadamente,  $f_i$  se debe elegir de modo que los anchos de banda de las distintas señales no se solapen de forma significativa. En caso contrario, resultaría imposible recuperar las señales originales.

## Esquema Transmisor



Tras esto, la señal compuesta puede desplazarse como un todo a otra frecuencia portadora a través de un proceso de modulación adicional. Este segundo paso de modulación no requiere hacer uso de la misma técnica de modulación que en el primero.

La señal FDM  $s(t)$  tiene un ancho de banda total  $B > \sum B_i$  ( $i = 1;n$ ). Esta señal analógica se transmitirá a través de un medio adecuado.

## Esquema Receptor

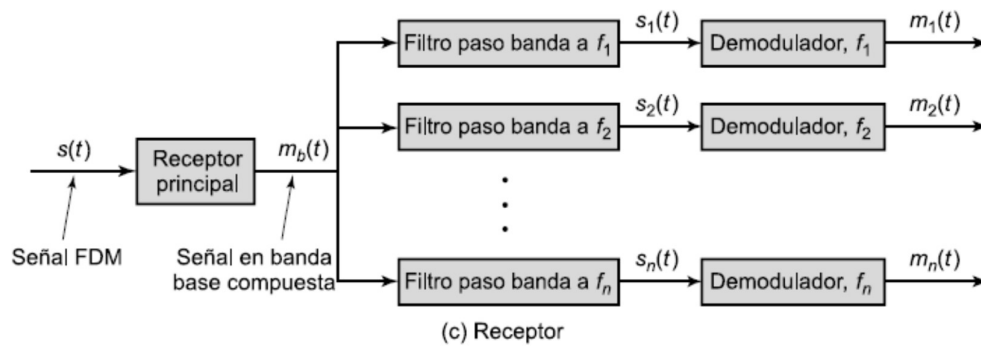


Figura 8.4. Sistema FDM [COUC01].

En el extremo receptor se demodula la señal FDM para recuperar  $m_b(t)$ , la cual se hace pasar a través de  $n$  **filtros paso banda**, cada uno centrado en torno a  $f_i$  con un ancho de banda  $B_i$ , para  $1 \leq i \leq n$ . De esta forma, la señal se divide de nuevo en sus componentes, siendo cada una de ellas demodulada para recuperar la señal original correspondiente.

Un sistema FDM estará afectado por dos factores, uno la **diafonía**, que puede aparecer si los espectros de señales componentes adyacentes se solapan de forma importante (Se mitiga dejando una banda de guarda). El segundo es el ruido de **intermodulación** donde se generan frecuencias por suma o diferencia de las originales (Se mitiga con transceptores de mejor calidad).

## Multiplexación por longitud de onda (WDM) *Wavelength Division Multiplexing*

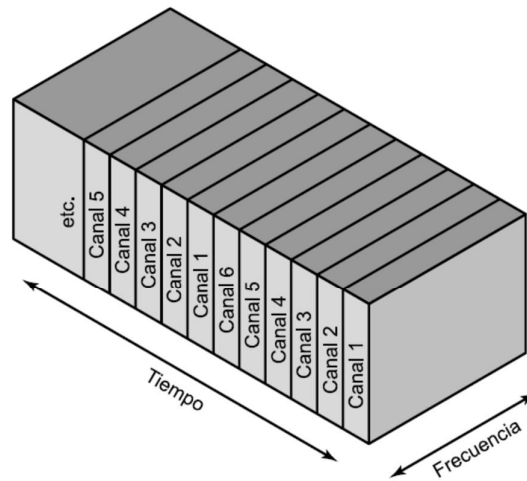
Toda la potencialidad de la fibra óptica puede explotarse mediante la transmisión de haces de luz a Frecuencias diferentes sobre una misma fibra. Aunque esto es una forma de multiplexación por división en frecuencias (FDM), se denomina usualmente multiplexación por división en la longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing).

En WDM, el haz de luz a través de la fibra consta de varios colores, o longitudes de onda, cada uno de los cuales transporta un canal de datos distinto.

Puede encontrarse el término **multiplexación por división en la longitud de onda densa (DWDM, Dense WDM)**, éste denota el empleo de más canales, más cercanos entre sí, que el WDM original.

## MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

La **multiplexación por división en el tiempo síncrona** se puede utilizar con señales digitales o con señales analógicas que transportan **datos digitales**.



(b) Multiplexación por división en el tiempo

Figura 8.2. FDM y TDM.

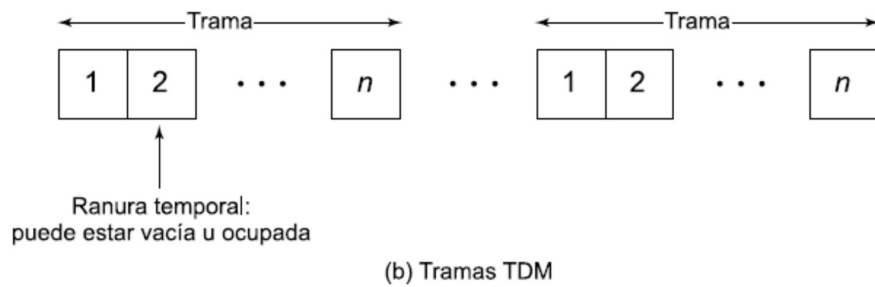
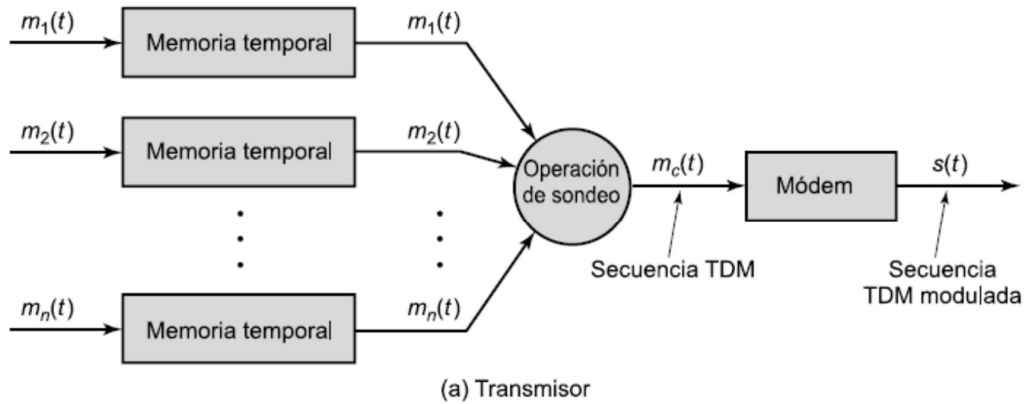
En esta forma de multiplexación, los datos procedentes de varias fuentes se transmiten en tramas repetitivas. Cada trama consta de un conjunto de ranuras temporales, asignándosele a cada fuente una o más ranuras por trama.

El efecto obtenido es la mezcla de los bits de datos de las distintas fuentes. El proceso de mezcla puede ser a nivel de bit o en bloques de octetos o cantidades superiores.

Los datos de entrada procedentes de cada fuente se almacenan brevemente en una memoria temporal o «buffer». Cada memoria temporal tiene una longitud típica de un bit o un carácter. Estas memorias temporales se “leen” secuencialmente para componer una secuencia de datos digital compuesta,  $mc(t)$ .

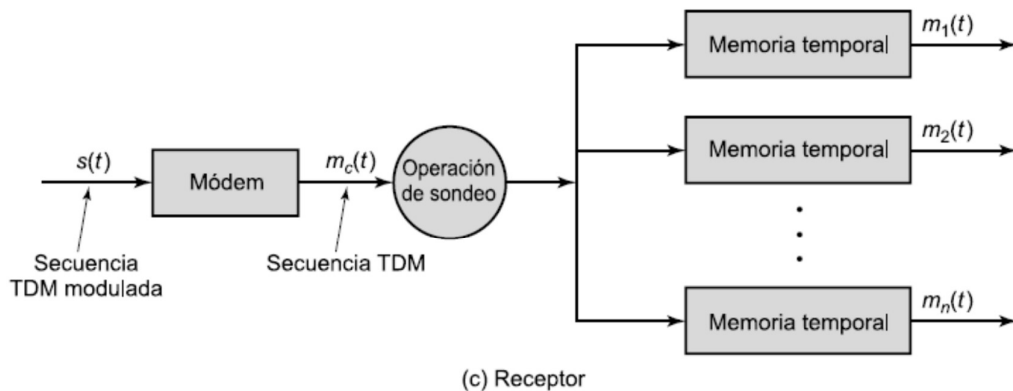
La lectura es lo suficientemente rápido para que cada memoria temporal se libere antes de que se reciban nuevos datos. Por tanto, la velocidad de  $mc(t)$  debe ser igual, al menos, a la suma de las velocidades de las señales  $mi(t)$ .

### Esquema transmisor



### Esquema receptor

Los datos mezclados se demultiplexan en el receptor y se encaminan hacia la memoria temporal de destino apropiada. Para cada fuente de entrada  $m_i(t)$  existe una fuente de salida idéntica que recibirá los datos de entrada a la misma velocidad a la que fueron generados.



**Figura 8.6.** Sistema TDM síncrono.

*La técnica TDM síncrona se denomina síncrona no porque se emplee transmisión síncrona, sino porque las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes.*

*Las ranuras temporales asociadas a cada fuente se transmiten tanto si éstas tienen datos que enviar como si no.*

Un dispositivo TDM síncrono puede gestionar fuentes a distintas velocidades incluso cuando se hacen asignaciones fijas de las ranuras temporales. Por ejemplo, al dispositivo de entrada más lento se le podría asignar una ranura por ciclo, mientras que a los más rápidos se podrían asignar varias ranuras por ciclo.

Control de flujo y control de errores.

El control de flujo y el control de errores pueden aplicarse para cada canal independientemente usando un protocolo de control del enlace de datos, sin embargo, no debe aplicarse a la trama multiplexada a transmitir.

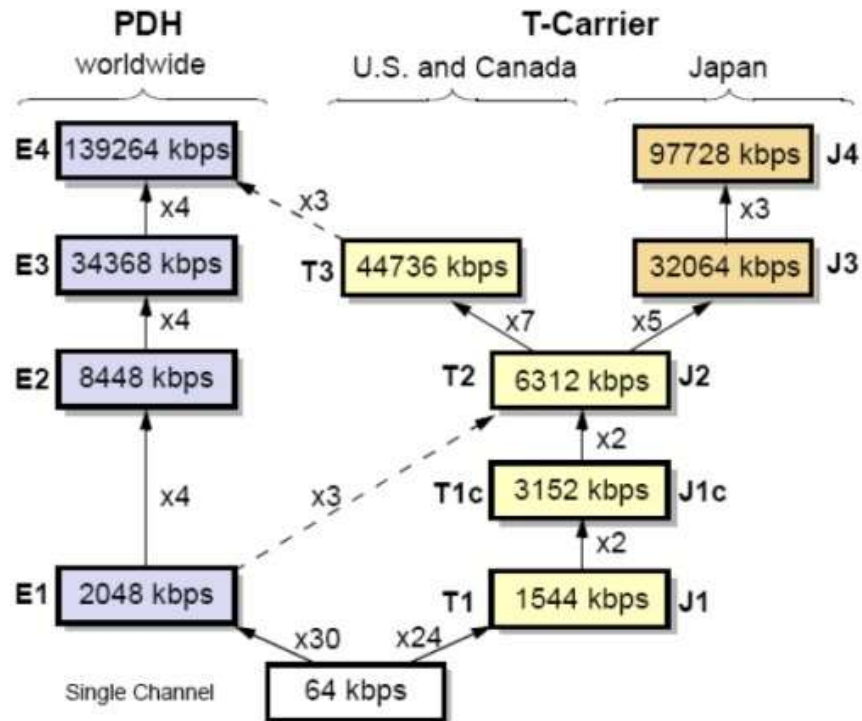
Tener presente que, de aplicarse una retransmisión en esta trama, los canales que no han recibido errores estarían recibiendo retransmisiones de sus datos.

### **Jerarquía digital plesiócrona**

La jerarquía digital plesiócrona (PDH - Plesiochronous Digital Hierarchy) es una tecnología de multiplexación por división de tiempo usada en telecomunicación, tradicionalmente para telefonía.

La tecnología PDH se basa en transmitir canales de 64 kbps. Existen tres jerarquías PDH: la europea, la norteamericana y la japonesa. La europea usa la trama descrita en la norma G.732 de la UIT-T mientras que la norteamericana y la japonesa se basan en la trama descrita en G.733.

Un canal es la codificación de una señal analógica con 8 bits a una tasa de muestreo de 8Khz lo que representa 64Kbps.



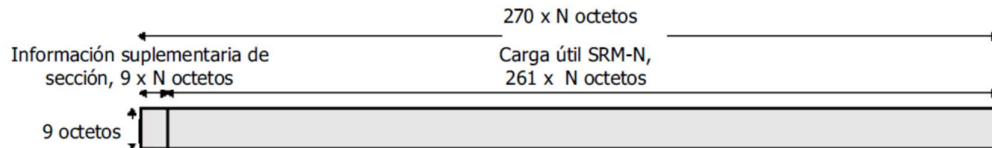
Otro ejemplo es la modulación celular en GSM (2G), donde cada canal/Portadora tiene un ancho de banda de 200Khz con 8 TS (Ranuras) en el que se multiplexan 8 conversaciones. (Codec FR, si se usa HR se pueden usar 16 canales).

### Jerarquía digital síncrona

La jerarquía digital síncrona (SDH - Synchronous Digital Hierarchy) se puede considerar como la revolución de los sistemas de transmisión, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión.

La trama básica de SDH es el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbit/s. Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez encapsulados se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura (el contenedor) y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1. Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16, STM-64 y STM-256.





(b) Formato de trama STM-N

**Tabla 8.4.** Jerarquía de señal en SONET/SDH.

Nomenclatura SONET	Nomenclatura ITU-T	Velocidad	Velocidad de información útil (Mbps)
STS-1/OC-1	STM-0	51,84 Mbps	50,112 Mbps
STS-3/OC-3	STM-1	155,52 Mbps	150,336 Mbps
STS-9/OC-9		466,56 Mbps	451,008 Mbps
STS-12/OC-12	STM-4	622,08 Mbps	601,344 Mbps
STS-18/OC-18		933,12 Mbps	902,016 Mbps
STS-24/OC-24		1,24416 Gbps	1,202688 Gbps
STS-36/OC-36		1,86624 Gbps	1,804032 Gbps
STS-48/OC-48	STM-16	2,48832 Gbps	2,405376 Gbps
STS-96/OC-96		4,87664 Gbps	4,810752 Gbps
STS-192/OC-192	STM-64	9,95328 Gbps	9,621504 Gbps
STS-768	STM-256	39,81312 Gbps	38,486016 Gbps
STS-3072		159,25248 Gbps	1,53944064 Gbps

## MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

### Características

El multiplexor estadístico usa la transmisión de datos mediante la reserva dinámica bajo demanda de las ranuras o divisiones temporales, es decir hay  $n$  líneas de entrada/salida, pero sólo  $k$ , con  $k < n$ , ranuras temporales disponibles en cada trama TDM.

La función de entrada del multiplexor consiste en sondear las memorias de almacenamiento de entrada para la captura de datos hasta que se complete una trama, enviando ésta posteriormente. Por lo que se refiere a la función de salida, el multiplexor recibe la trama y distribuye las ranuras temporales de datos a las memorias temporales de salida correspondientes.

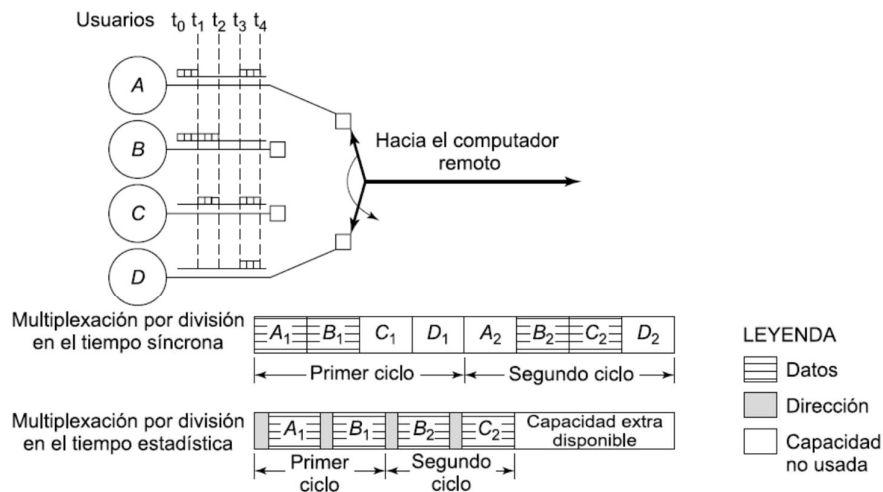


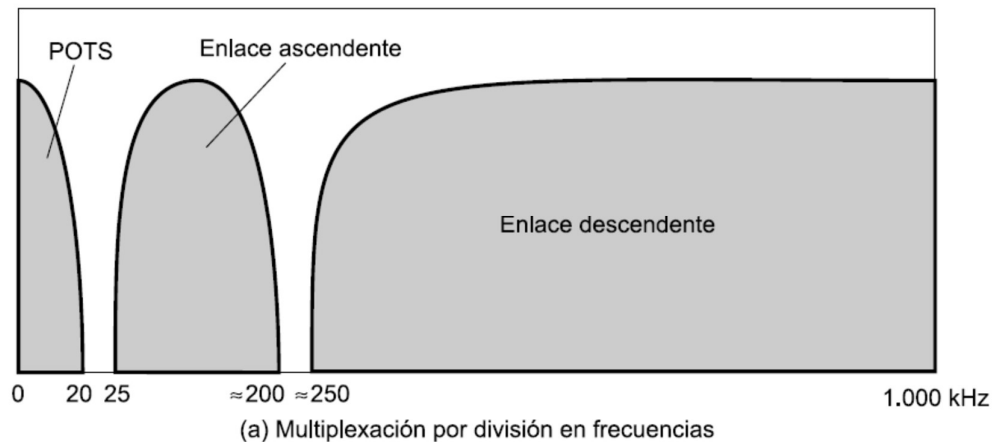
Figura 8.12. Comparación de las técnicas TDM síncrona y estadística.

Dado que los datos se reciben desde y se distribuyen hacia las líneas de entrada/salida de forma impredecible, se precisa información de direccionamiento para asegurar que el envío se realiza de forma apropiada. Por tanto, en el caso de la técnica TDM estadística existe más información suplementaria por ranura, ya que cada una de ellas transporta una dirección además de los datos propiamente dichos.

El problema de este esquema es que, aunque la entrada conjunta promedio puede ser menor que la capacidad de la línea multiplexada, puede haber periodos de pico en los que la entrada exceda la capacidad. La solución a este problema consiste en incluir una **memoria temporal** en el multiplexor para almacenar temporalmente el exceso de datos de entrada.

## LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

El término asimétrico se refiere al hecho de que ADSL proporciona más capacidad de transmisión en el enlace descendente (desde la oficina central del proveedor hacia el usuario) que en el ascendente (desde el usuario hacia el proveedor). ADSL se orientó originalmente hacia las necesidades de recursos previstas en aplicaciones de vídeo bajo demanda y servicios relacionados.



ADSL hace uso de multiplexación por división en frecuencias (FDM) de una forma novedosa para aprovechar la capacidad de 1 MHz de que dispone el cable de par trenzado.

Existen tres elementos en el esquema ADSL:

- Reserva de los 25 kHz inferiores para voz, conocido como POST (Plain Old Telephone Service). La voz se transmite sólo en la banda 0-4 kHz, sirviendo el ancho de banda adicional para evitar la producción de diafonía entre los canales de voz y de datos.
- Utilización de cancelación de eco o FDM, para dar cabida a dos bandas, una ascendente pequeña y una descendente grande.
- Uso de FDM en las bandas ascendente y descendente. En este caso, una secuencia de bits dada se divide en varias secuencias paralelas y cada una de ellas se transmite en una banda de frecuencias distinta.