

MULTIPLEXIÓN

Módulo 3

Temas a tratar

1. Multiplexión por división de frecuencias (FDM)
2. Multiplexión por división de tiempo (TDM)
3. Multiplexión por división de tiempo estadística (STDM)
4. Multiplexión por división de longitud de onda (WDM)
5. Redes Ópticas (OTN – Optical Transport Network)

Objetivos del módulo

Al finalizar el presente módulo el alumno debe ser capaz de:

1. Comprender el concepto de multiplexión
2. Entender al concepto de multiplexión por división de frecuencias
3. Conocer el concepto de multiplexión por división de tiempos y la multiplexión por división de tiempos estadísticas
4. Interpretar la evolución de la multiplexión por división de longitud de onda y su aplicación
5. Contar con los criterios suficientes para la aplicación de los distintos tipos de multiplexión

Introducción

Recordando la características de una WAN

Normalmente, la red de comunicación de una WAN:

- ✓ Cubre **grandes extensiones** geográficas
- ✓ Provee comunicación a un **elevado número** de dispositivos de usuario
- ✓ Con estas características, para que el **servicio de comunicación** a los usuarios sea **eficiente**, se necesita realizar una **alta inversión económica en la red** en:
 - ✓ **Equipos y enlaces**
 - ✓ **Operación y mantenimiento**
- ✓ Esta alta inversión conlleva la necesidad de **optimizar el uso de los recursos** mencionados (equipos y enlaces)
- ✓ Veamos como asegurar la eficiencia de los **enlaces entre nodos**.

Introducción

Enlaces entre nodos: el concepto de eficiencia

En una red de comunicación ¿qué significa proveer comunicación eficiente por los enlaces?

$$\text{Eficiencia} = (\text{cantidad de conexiones de usuario}) / \text{costo}$$

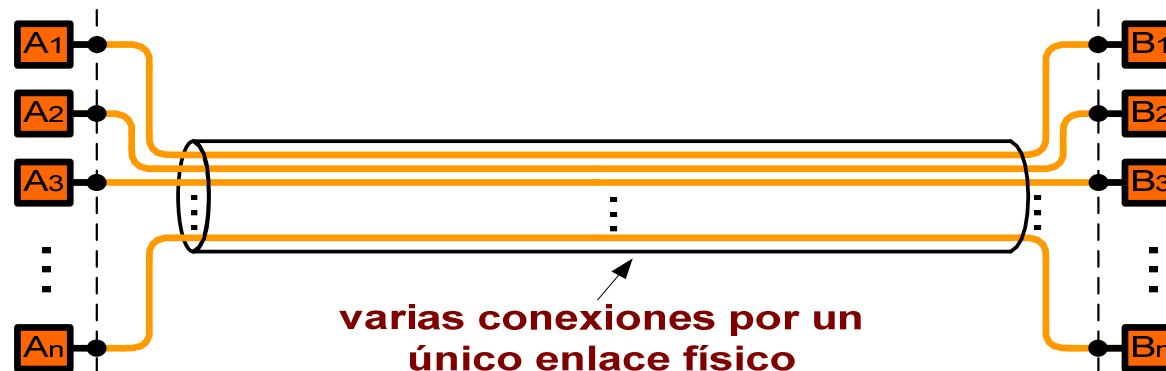
Por lo tanto, para lograr alta eficiencia de la comunicación por un enlace, se requieren 2 cosas:

1. Capacidad de transportar múltiples conexiones simultáneas de dispositivos de usuario a través de los enlaces entre nodos de la red de comunicación
2. Alto tiempo de ocupación efectiva de los enlaces entre nodos: Una de las técnicas más usadas para transportar múltiples conexiones simultáneas (punto 1) es la de **multiplexión o multiplexación**

Introducción

Conceptos de multiplexión

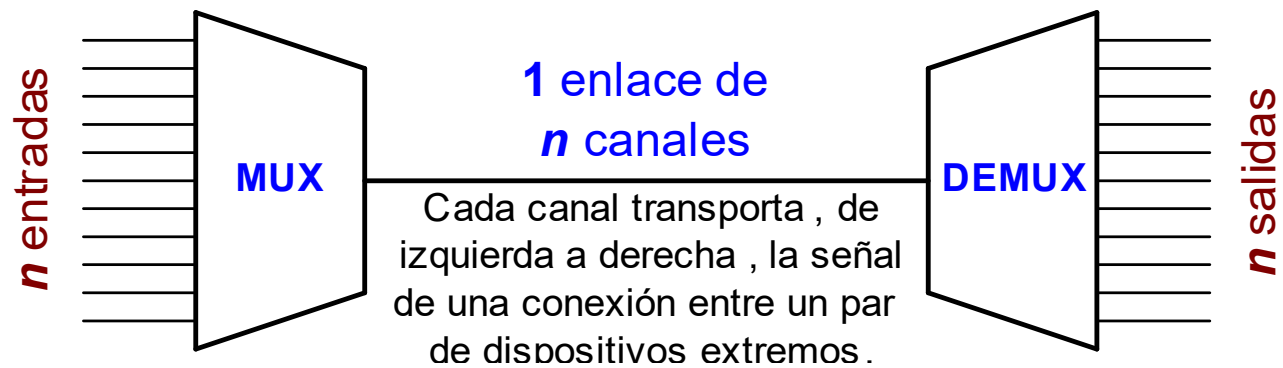
- ✓ La técnica de **multiplexión** permite comunicar **pares de dispositivos** (los dispositivos de cada par están ubicados en distintos puntos geográficos) utilizando un **único enlace físico**
- ✓ Para poder aplicar la técnica de multiplexión, La comunicación entre **cada par** de dispositivos (A_i , B_i) debe utilizar sólo una **fracción** de la capacidad total del enlace.



Introducción

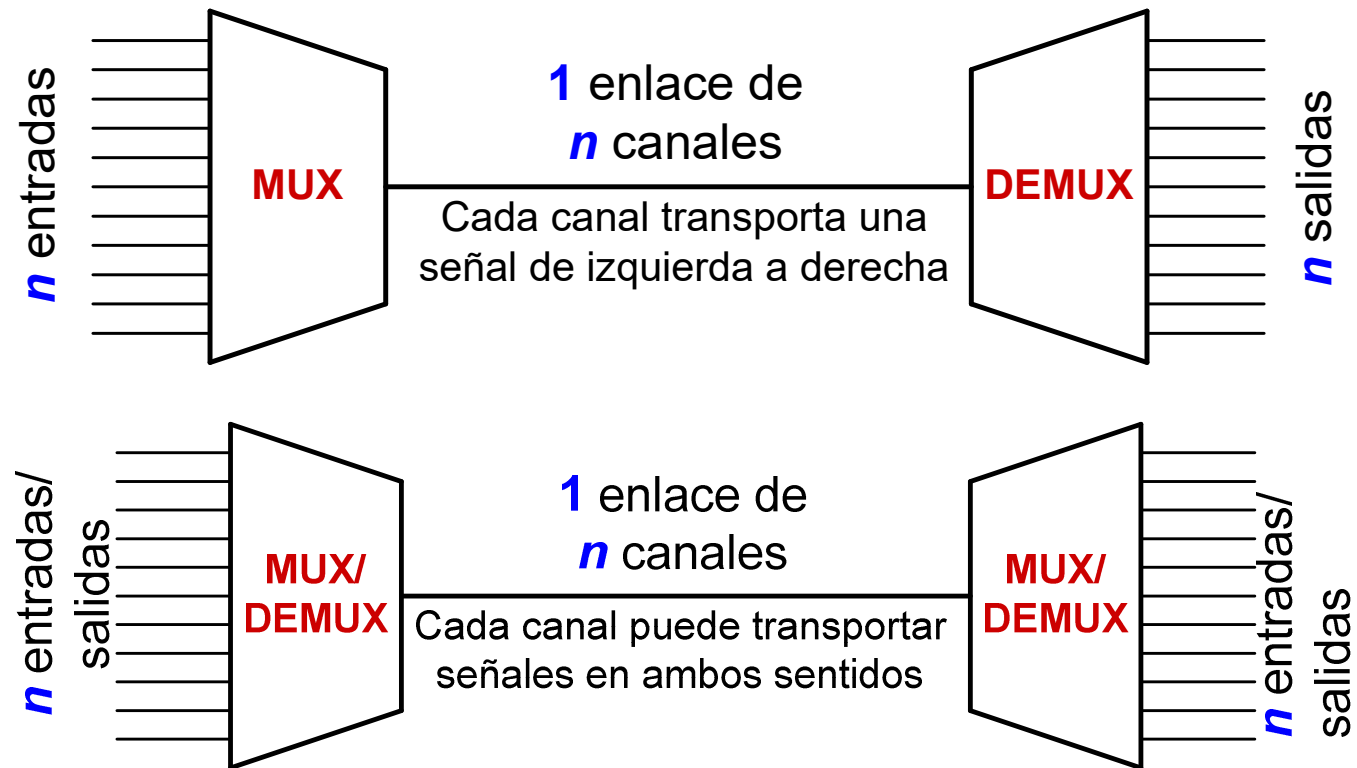
Conceptos de multiplexión

Elementos que intervienen en una comunicación multiplexada



Introducción

Conceptos de multiplexión



Introducción

Conceptos de multiplexión: aspectos técnicos y económicos

Existe en la práctica un amplio uso de las técnicas de multiplexión en la comunicación de datos en general, sobre todo en enlaces WAN, debido a las siguientes razones:

- ✓ A medida que la velocidad de un enlace es mayor, es posible enviar una mayor cantidad de señales, por lo tanto mejora la relación costo/beneficio (más eficiencia).
- ✓ Una parte de los dispositivos de usuario requiere velocidades de datos relativamente bajas o transmite en modo ráfaga. (Ejemplo: Una notebook requiere pocos Mbps, mientras que por una línea backbone de F.O. se pueden enviar hasta varias decenas de Gigabits por segundo)

Conclusión: se trata siempre de concentrar múltiples canales (dispositivos de usuario) en un sólo enlace físico, como un cable de fibra óptica o un enlace de radio de alta capacidad.

Introducción

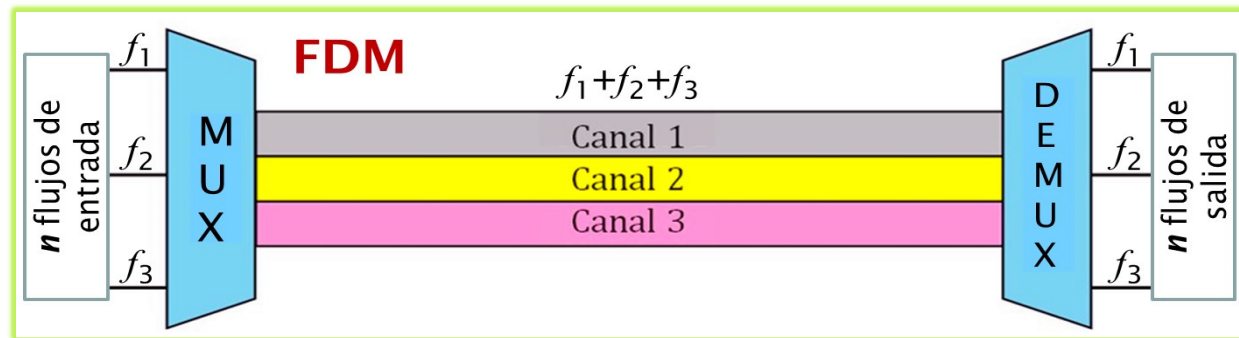
Técnicas de Multiplexión

1. Multiplexión por División en Frecuencias (FDM)

Primera en ser implementada en enlaces entre centrales telefónicas a través de coaxil o radio

Uso actual:

- ✓ Enlaces de usuario con UTP (xDSL acceso a Internet)
- ✓ TV de cable y aire, y radio (broadcasting)



Introducción

Técnicas de Multiplexión

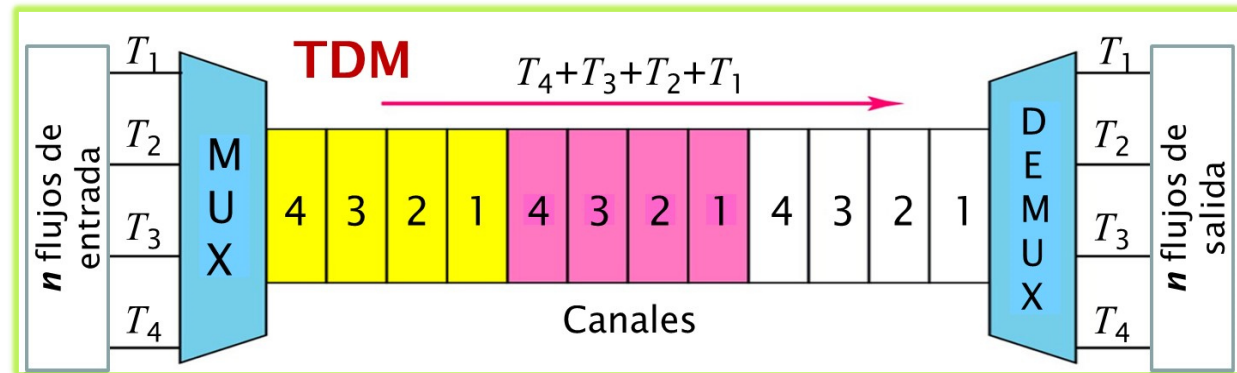
2. Multiplexión por División en el Tiempo (TDM)

Se la denomina comúnmente como TDM sincrónica. Uso actual: voz digitalizada y datos. Transmisión de TV digital

Variante: Multiplexión por División en el Tiempo Estadística (STDM)

Objetivo: hacer eficiente la TDM sincrónica. Se agrega complejidad al multiplexor.

STDM se conoce con los nombres de TDM asincrónica y TDM inteligente



Introducción

Técnicas de Multiplexión

3. Multiplexión por División de Longitud de Onda (WDM)

Multiplexación por división de longitud de onda. Es una técnica analógica que combina señales ópticas.



Multiplexión por División de Frecuencias (FDM)

Descripción

- ✓ ¿Cuándo se puede usar FDM? Cuando el ancho de banda útil del medio de transmisión es mayor que la suma de los anchos de banda de las señales a transmitir.
- ✓ La técnica permite modular varias señales en forma simultánea
- ✓ Se **modula** cada una de ellas con una **frecuencia portadora diferente** de tal forma que estén lo suficientemente **separadas** para que los anchos de bandas de las señales **no se solapen e interfieran** entre sí (Figura 2.1.1.1 (b))
- ✓ Las señales de **entrada**, como la señal **compuesta** transmitida a través del medio son **analógicas**, dado que esta técnica de FDM se basa en operaciones analógicas como es la **modulación**.
- ✓ Sin embargo, las señales de entrada también pueden ser digitales, pero deben convertirse a analógicas antes de ser multiplexadas.
- ✓ Ejemplos de FDM: radiofonía, TV por aire, TV por cable analógica, ADSL.

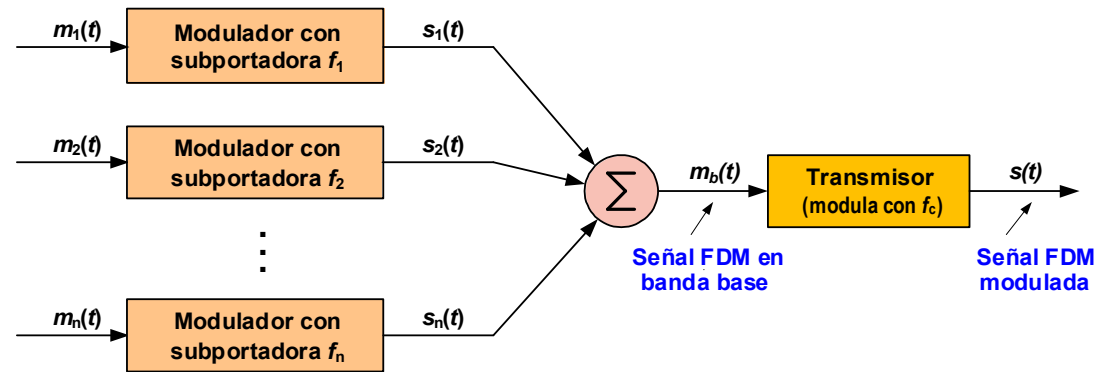
Multiplexión por División de Frecuencias (FDM)

Funcionamiento

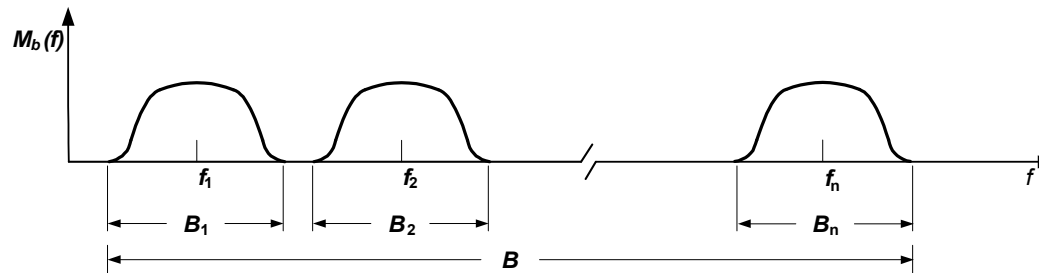
- ✓ Los espectros de frecuencia de las señales de entrada $m_i(t)$, con $i = 1, 2, 3, \dots, n$) deben desplazarse para poder unirse y ser enviadas por un mismo enlace (Figura siguiente slide)
- ✓ En el otro extremo son separadas y entregadas a sus respectivos destinos.
- ✓ 1° Para desplazar el espectro, cada señal m_i modula una portadora f_i de diferente frecuencia. (f_i : subportadoras)
- ✓ 2° luego las señales moduladas analógicas resultantes se suman para dar lugar a una señal $m_b(t)$ compuesta que se denomina “Señal FDM en banda base”. (Figura b del siguiente slide)
- ✓ 3° A partir de la Señal FDM banda base se genera la señal FDM modulada

Multiplexión por División de Frecuencias (FDM)

Multiplexor



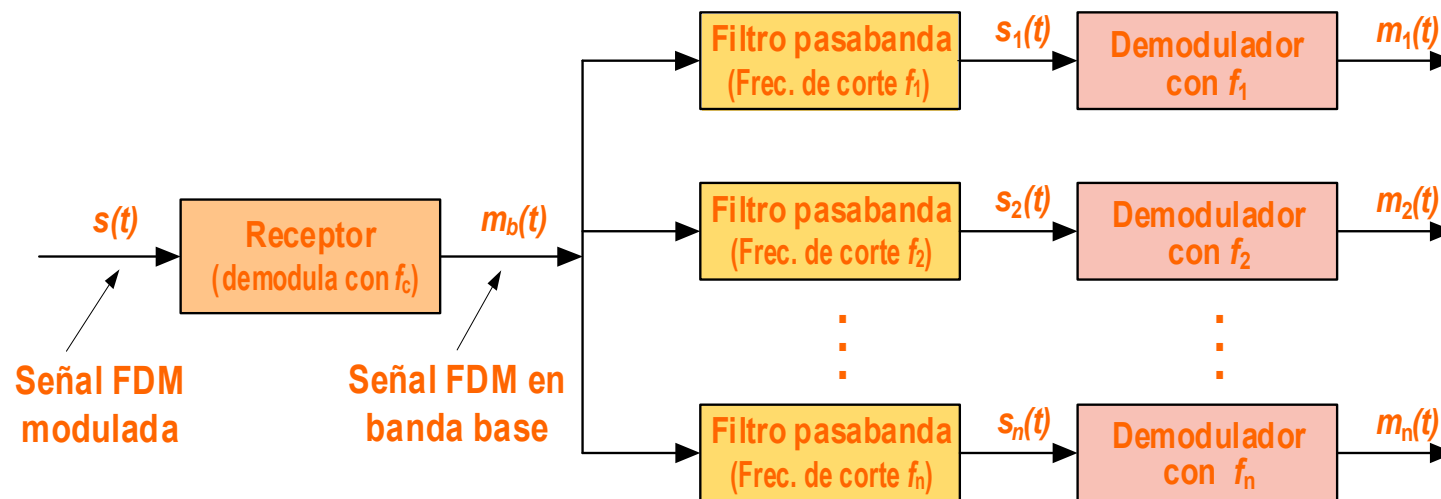
(a) Multiplexor



(b) Espectro de la señal FDM en banda base

Multiplexión por División de Frecuencias (FDM)

Demultiplexor



c) Demultiplexor

Multiplexión por División de Frecuencias (FDM)

Estándar Internacional y de EE.UU. para FDM

Número de canales de voz	Ancho de banda	Espectro	AT & T	ITU-T
12	48 kHz	60-108 kHz	Grupo	Grupo
60	240 kHz	312-552 kHz	Supergrupo	Supergrupo
300	1,232 MHz	812-2.044 kHz		Grupo maestro
600	2,52 MHz	564-3.084 kHz	Grupo maestro	
900	3,872 MHz	8,516-12,388 MHz		Grupo supermaestro
$N \times 600$			Grupo maestro multiplexado	
3.600	16,984 MHz	0,564-17,548 MHz	Grupo jumbo	
10.800	57,442 MHz	3,124-60,566 MHz	Grupo jumbo multiplexado	

Multiplexión por División de Frecuencias (FDM)

Ejercicio para aplicar el concepto FDM

Se debe enviar por un único cable 3 señales de voz, cada una de 4KHz de ancho de banda, usando FDM.

Usted debe diseñar un sistema FDM indicando:

- 1) Todos los dispositivos intervinientes
- 2) Las subportadoras y los tipos de filtros necesarios con las respectivas frecuencias de corte, dejando 1 KHz entre los límites de los espectros de frecuencia de las señales desplazadas.

Nota: el ancho de banda del cable está entre 100 y 200 KHz y se usa modulación AM.

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

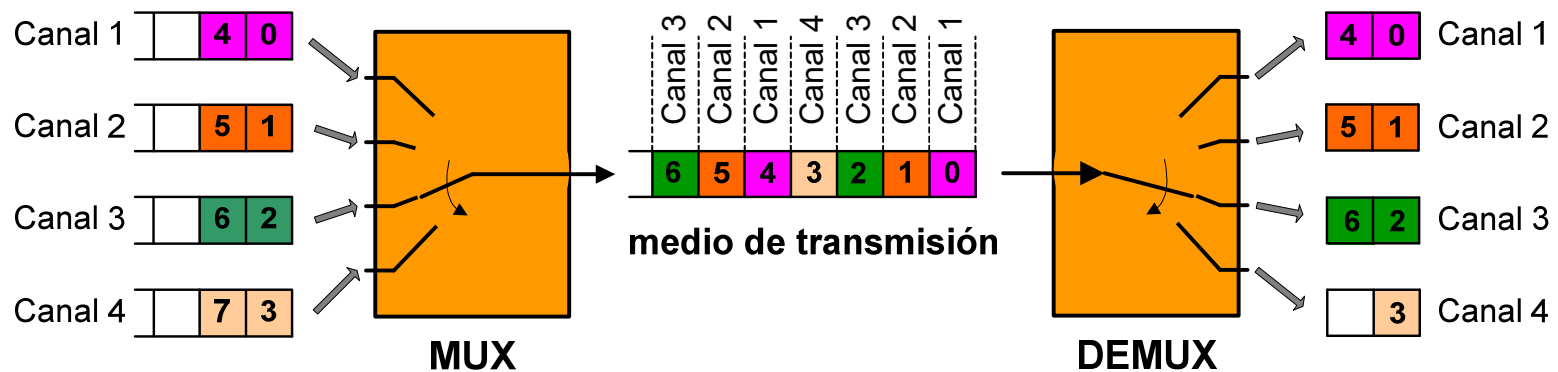
Descripción

- ✓ ¿Cuándo se puede usar TDM? Cuando la velocidad de transmisión alcanzable por el medio es mayor que la suma de las velocidades de las señales digitales a transmitir.
- ✓ Ejemplo: Para 4 entradas de 10 Kbps cada una, se necesita que la línea de salida pueda transmitir, como mínimo, a 40 Kbps.
- ✓ La técnica **TDM** consiste en transmitir varias señales digitales a través de una única ruta de transmisión mediante la **mezcla temporal de porciones (bloques de datos)** de cada una de las señales. **Porción de señal = muestra de señal**
- ✓ La **muestra** puede ser: un bit, un byte, o bloques de bits o bytes Por este motivo **las señales a multiplexar deben ser digitales**, pudiendo transportar tanto datos digitales como analógicos.
- ✓ **Varias señales analógicas** pueden ser **enviadas** usando **TDM**, pero **deben ser digitalizadas** antes de ser multiplexadas.

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Funcionamiento

- ✓ Operación de **multiplexado** realizada por el MUX : Consiste en **leer secuencialmente las muestras de cada línea de entrada** y ubicarlas en forma ordenada en el medio de transmisión
- ✓ Operación de **demultiplexado** realizada por el DEMUX .Lleva a cabo la tarea inversa; esto es, operando en forma sincronizada con el MUX, **toma del medio de transmisión cada muestra** y la ubica en la salida correspondiente.



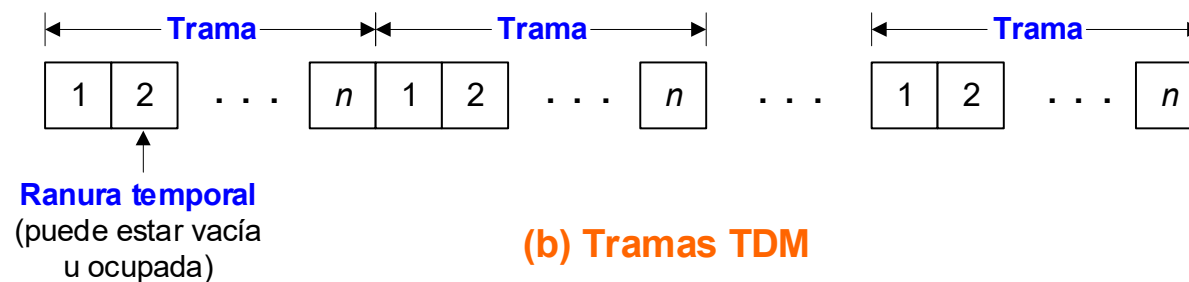
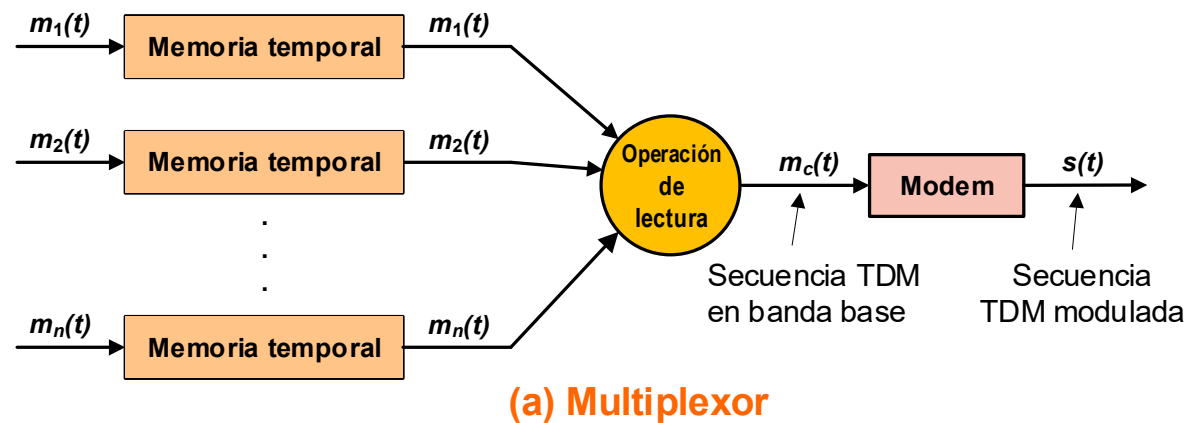
Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Funcionamiento

- ✓ El MUX TDM junta (multiplexa) varias señales digitales $[m_i(t), i = 1, n]$ para ser enviadas por un único medio de transmisión.
- ✓ De cada señal de entrada procedente de una fuente particular, se almacena brevemente una muestra en una memoria temporal (buffer) (Figura siguiente slide)
- ✓ Cada buffer tiene el tamaño suficiente para alojar el grupo de datos de la muestra correspondiente.
- ✓ Una vez que las muestras han sido almacenadas, son leídas secuencialmente para componer una secuencia de datos digital que es enviada por la línea de salida.

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

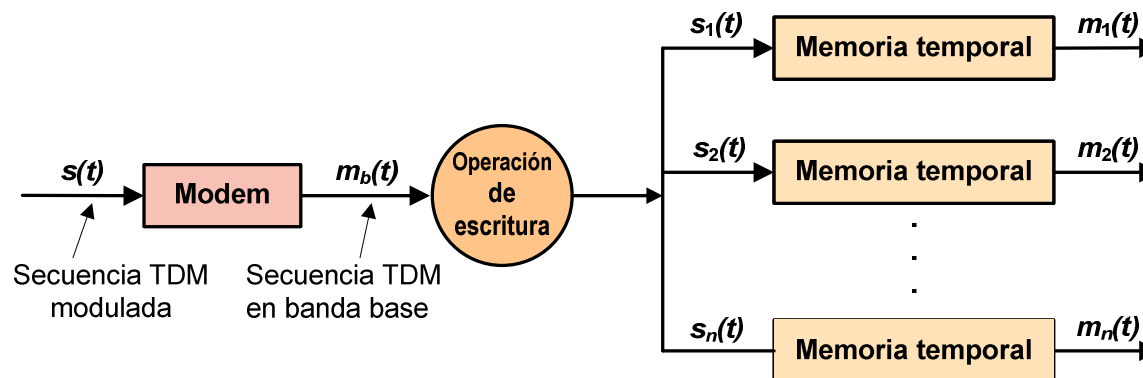
Funcionamiento



Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Funcionamiento

Los datos multiplexados se demultiplexan en el **DEMUX** y se encaminan hacia el buffer destino apropiado. Por cada fuente de entrada $m_i(t)$ existe un destino de salida que recibirá los datos ingresados a la misma velocidad a la que fueron generados.

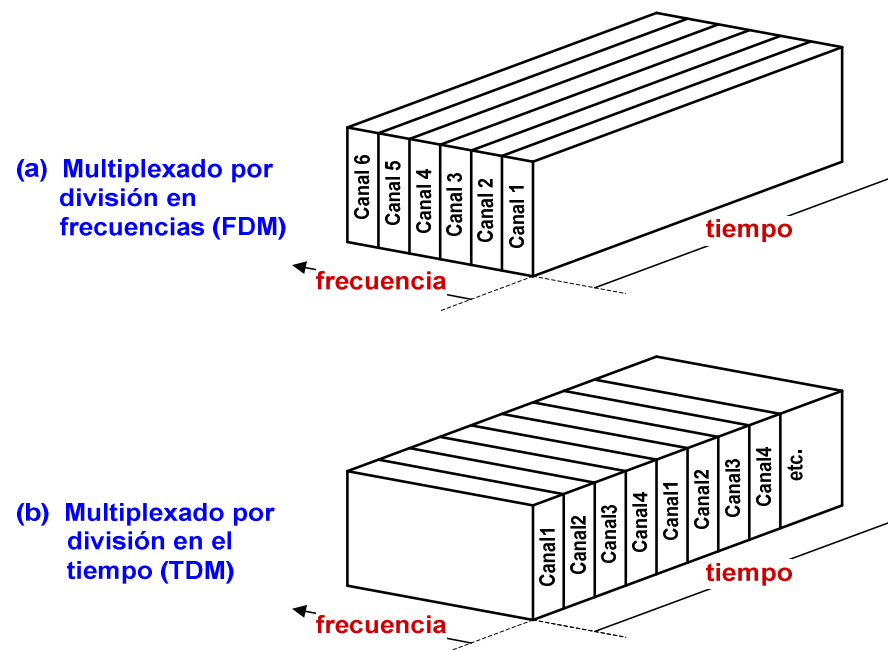


FDM y TDM

Concepto de Canal

FDM: un canal ocupa una fracción de ancho de banda del medio, todo el tiempo

TDM: un canal ocupa en una fracción de tiempo todo el ancho de banda



Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Estándar Internacional: Sistema de Portadora Digital (PDH)

Jerarquía de la UIT-T (todo el mundo, menos EE.UU., Japón y Canadá): está basada en el formato de nivel 1 llamado **E1** (transporta tramas con formato E1).

- ✓ Formato E1: trama de **32** canales digitales multiplexados TDM.
- ✓ Cada canal tiene una velocidad de **64 Kbps**.
- ✓ Velocidad de E1: **2.048 Kbps** ó **2,048 Mbps**.

Jerarquía de EE.UU., Japón y Canadá: está basada en el formato llamado **T1**.

- ✓ Formato T1: trama de **24** canales digitales multiplexados TDM.
- ✓ Velocidad de T1: **1,544 Mbps**

Usos de los estándares TDM Internacionales

- ✓ En redes públicas y privadas de voz y datos.
- ✓ Todos los dispositivos comerciales traen normalmente los dos estándares (Ei y Ti).

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Estándar Internacional: Sistema de Portadora Digital (PDH)

Internacional (UIT-T)				Canadá, Japón, EEUU			
Nivel	Enlace	Nº canales de voz	Velocidad [Mbps]	Nomenclatura	Enlace	Nº canales de voz	Velocidad [Mbps]
1	E1	30	2,048	DS-1	T1	24	1,544
2	E2 = 4E1	120	8,448	DS-1C	T2 = 2T1	48	3,152
3	E3 = 16E1	480	34,368	DS-2	T3 = 4T1	86	6,312
4	E4 = 64E1	1.920	139,264	DS-3	T4 = 28T1	672	44,736
5	E5 = 256E1	7.680	565,148	DS-4	T5 = 168T1	4.032	274,176

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Aplicación del Sistema de Portadora Digital: voz digitalizada

Canal básico de voz digitalizada: Usa la Técnica PCM para digitalizar la voz

- ✓ Precisión de $100/256 = 0,4 \%$, es decir, se usan 8 bits.
- ✓ Cantidad de muestras: 8.000/seg. (Ancho de Banda de la señal analógica. = 4KHz)
- ✓ **Velocidad de 1 canal voz:** 8 bits x 8.000 muestras/seg = **64 Kbps**

Enlace E1: 30 canales de voz + 2 can. de señalización de control. de 64 Kbps c/u.

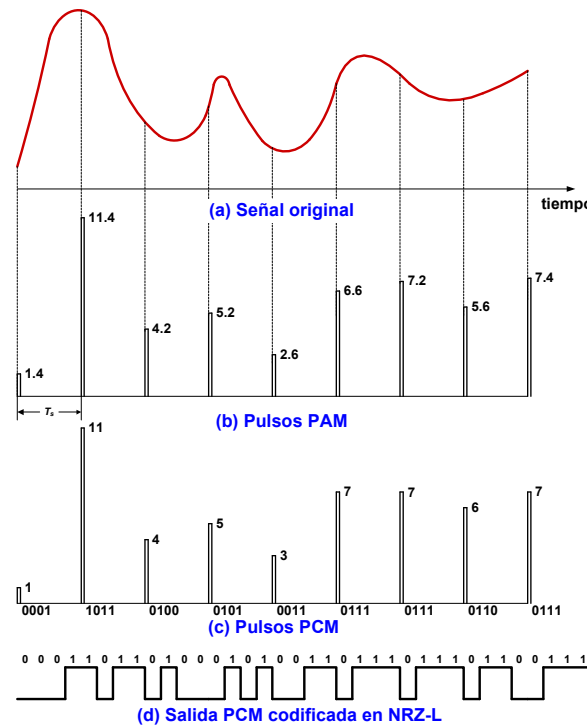
- ✓ Velocidad E1: $32 \times 64 \text{ Kbps} = 2,048 \text{ Mbps}$.
- ✓ Total bits de la trama E1: $8 \times 32 = 256 \text{ bits}$ en 125 μs .

Enlace T1: 24 canales: usa 7 bits de muestra + 1 de control.

- ✓ Total bits de la trama: $24 \times 8 + 1 = 193 \text{ bits}$
- ✓ Velocidad T1: $193 \text{ bits} \times 8.000 \text{ muestras/seg} = 1,544 \text{ Mbps}$

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

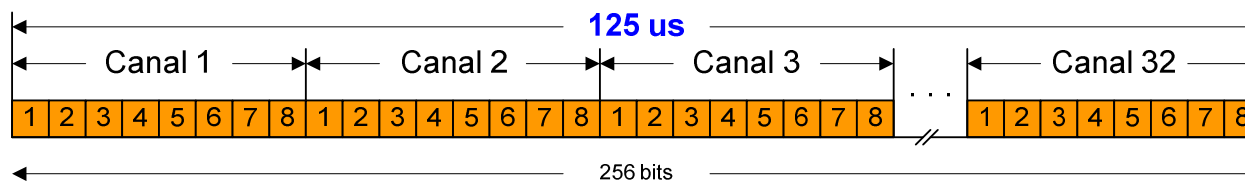
Aplicación del Sistema de Portadora Digital: voz digitalizada Técnica PCM



Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

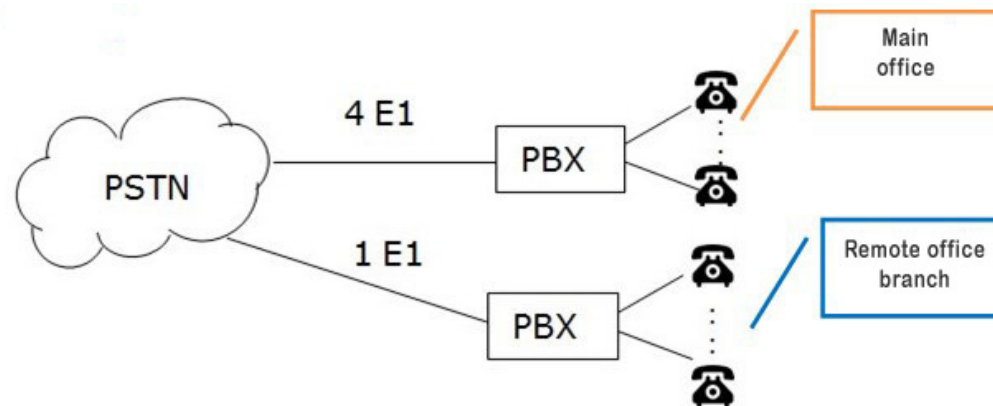
Aplicación del Sistema de Portadora Digital: voz digitalizada

Formato de una trama E1 para transmitir voz



Referencias

1. 30 Canales de voz: PCM de 8 bits por muestra
2. 2 Canales de datos empleados para señalización

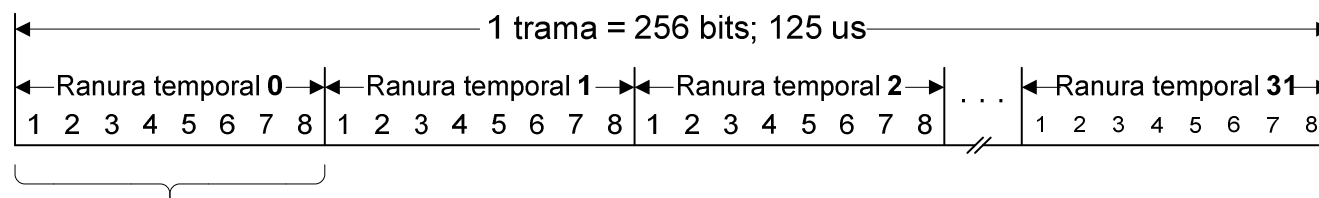


Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Aplicación del Sistema de Portadora Digital: datos digitales

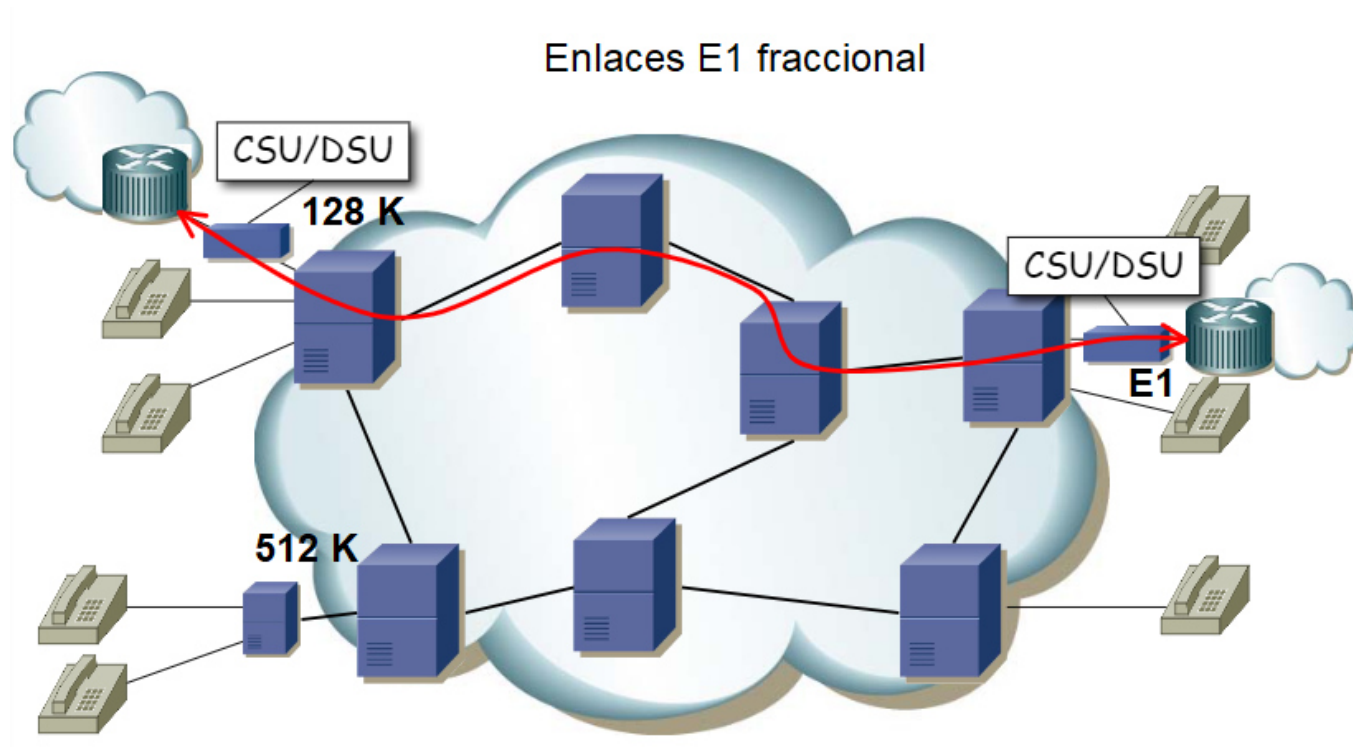
- ✓ La jerarquía E_i y T_i está disponible para transmitir datos
- ✓ Se pueden configurar enlaces múltiples y submúltiplos de $E1$ y $T1$
- ✓ **E1 fraccional**: Se denomina así a una velocidad submúltiplo de $E1$: puede tomar valores 1.024, 512, 256, 128, 64, 32, 19.2 y 9.6 Kbps.
- ✓ Los bits de la primera ranura se usan para sincronismo y como delimitación de trama (respecto de la trama adyacente).

Formato de una trama E1 para transmitir voz



Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Aplicación del Sistema de Portadora Digital: datos digitales



Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Hacia Mayores Velocidades: SDH (Jerarquía Digital Sincrónica)

- ✓ Estándar ITU-T G.707, 708 y 709
- ✓ Unifica valores (estándar) de transmisión (USA-Europa).
- ✓ Incluye medios ópticos de transmisión (superar el límite de 140 Mbps)
- ✓ Implementa mecanismos MUX completamente síncronos que permitan insertar/extraer canales sin necesidad de demultiplexar tramas completas
- ✓ Entramado byte a byte(no bit a bit).
- ✓ Aparece el concepto de “redes de transporte” como evolución del concepto “redes de transmisión”
- ✓ Ofrece velocidades de hasta 10 Gbps y más

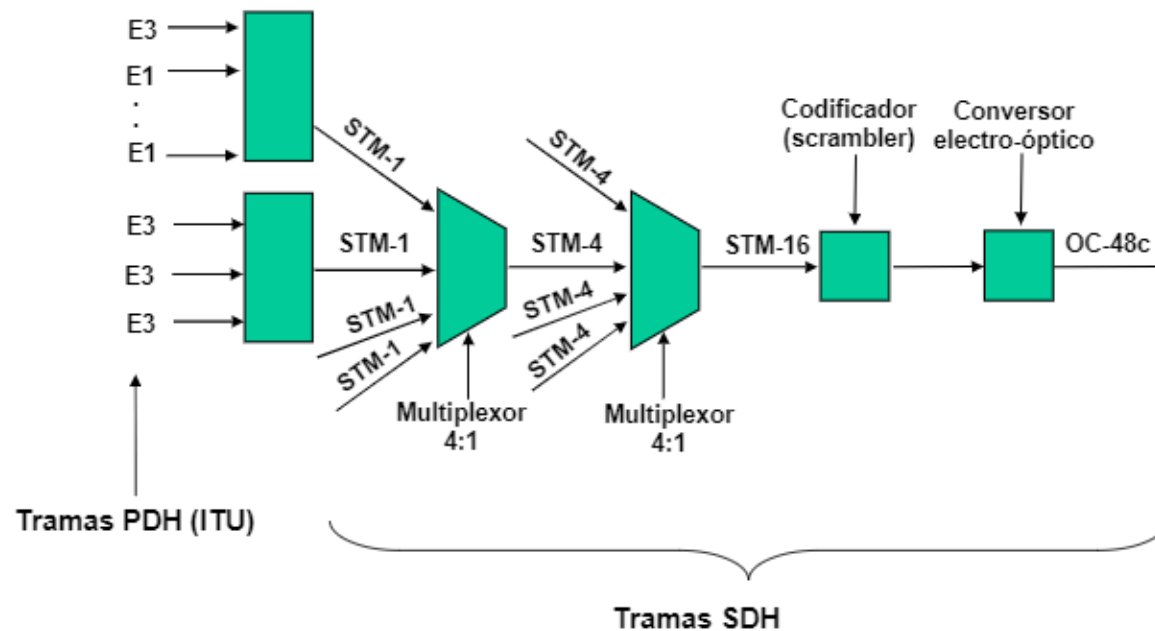
Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Hacia Mayores Velocidades: SDH (Jerarquía Digital Sincrónica)

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

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Hacia Mayores Velocidades: SDH (Jerarquía Digital Sincrónica)

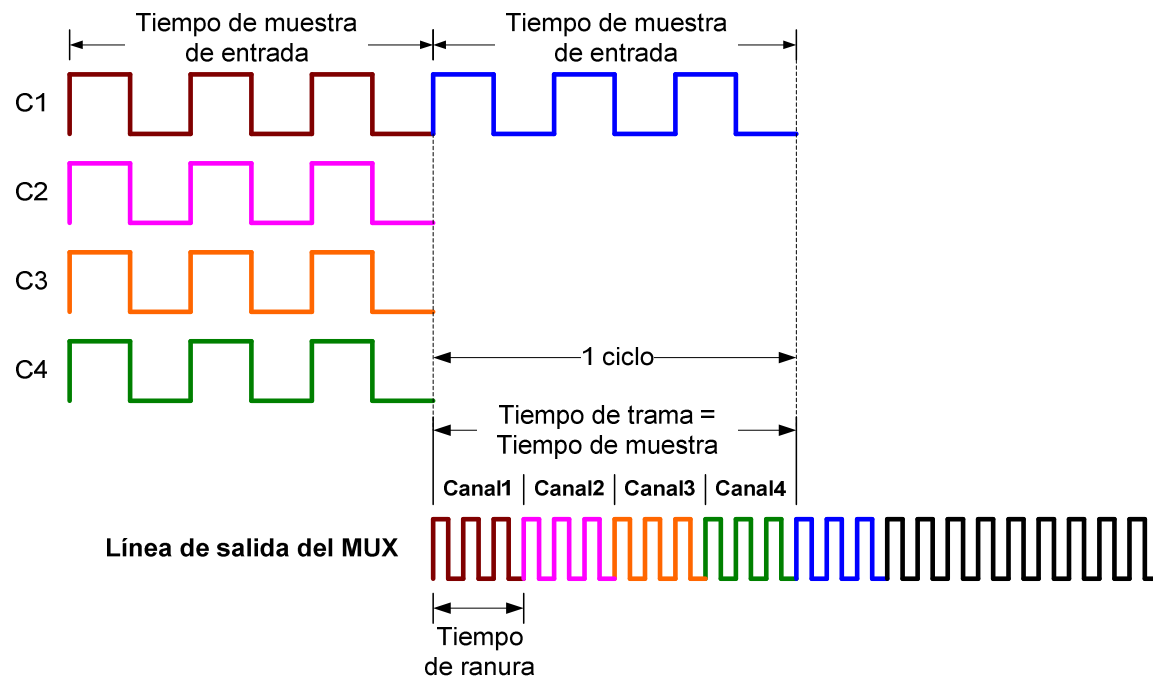


B r e a k

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Análisis del funcionamiento: Ejemplo

A continuación se presenta un ejemplo de TDM en el que 4 fuentes ingresan datos a un multiplexor.



Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Análisis del funcionamiento: Ejemplo

Para evitar que se **pierdan datos** que **ingresan** por las líneas de entrada y que **salen** por la línea de salida, es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

1. **Lectura de muestras en los buffers de entrada**
 - Una vez que por las línea de entrada se ha completado el ingreso de las muestras de datos a los buffers, éstas deben ser retiradas inmediatamente por el MUX y almacenadas en un buffer interno.
 - Dicha lectura debe realizarse en un tiempo tal que sea **despreciable** respecto de un dato (mucho menor que el **tiempo de bit** de la muestra) para evitar la sobreescritura en los buffers.

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Análisis del funcionamiento: Ejemplo

2. Transmisión por la línea de salida

Luego de que las **muestras han sido retiradas** de los buffers de entrada y almacenadas en el buffer interno del MUX, éstas **deben ser transmitidas inmediatamente** por la línea de salida a una **velocidad igual o mayor** que la **suma de las velocidades de las líneas de entrada** para evitar la sobre escritura de datos en la línea de salida.

Conclusiones del Ejemplo

- a. **El tiempo de trama** debe ser igual o menor que el **tiempo de muestra**.
- b. Es lo mismo que decir que: el tiempo de la suma de todas las ranuras de tiempo que constituyen una trama debe ser igual o menor que el tiempo de muestra

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Ejercicio para aplicar TDM

Tres fuentes ingresan señales digitales a un MUX TDM. La velocidad de cada línea de entrada es de 1000 bytes por segundos y se multiplexa 1 byte por canal

Usted debe calcular:

- 1) Trama que viaja en el enlace
- 2) Tasa de bits del enlace o velocidad de la línea de salida
- 3) Duración de cada trama
- 4) Duración de cada ranura en la trama
- 5) Haga un esquema temporal indicando las muestras de entrada y la señal compuesta que sale del MUX con los valores de tiempo correspondientes.

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDM)

Características

- ✓ Evita que se desaprovechen las ranuras temporales dentro de una trama, como sucede en los casos reales de transmisión de datos
- ✓ Ejemplo: Una aplicación típica es la conexión de varios terminales al puerto compartido de un computador central. aún cuando todos los terminales estén operando activamente, la situación real en cada terminal es que la mayor parte del tiempo no existe transferencia de datos (línea vacía)
- ✓ El MUX estadístico aprovecha esta característica típica de los sistemas reales realizando una reserva dinámica bajo demanda de las ranuras temporales, a diferencia de la reserva estática que hace TDM
- ✓ ¿Qué es la “reserva dinámica bajo demanda”? Que sólo se reservan ranuras de tiempo para los buffers de entrada que tienen datos. No hay ranuras vacías como puede ocurrir en TDM

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDM)

Características

Similitudes de STDM con TDM

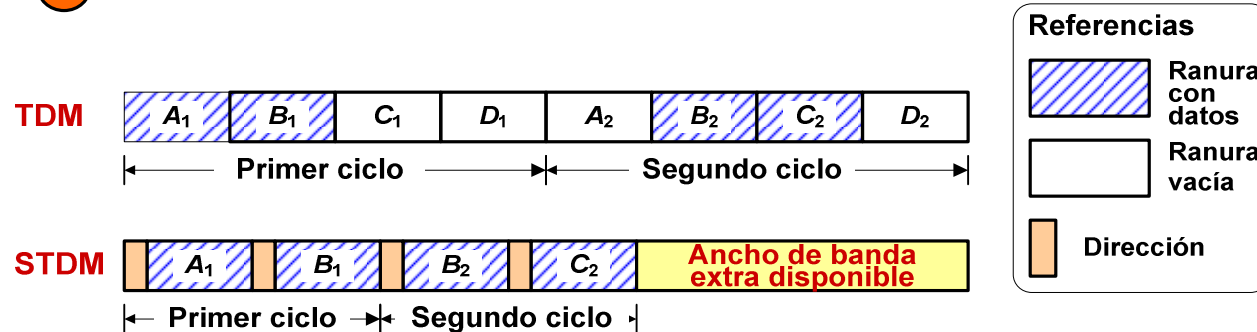
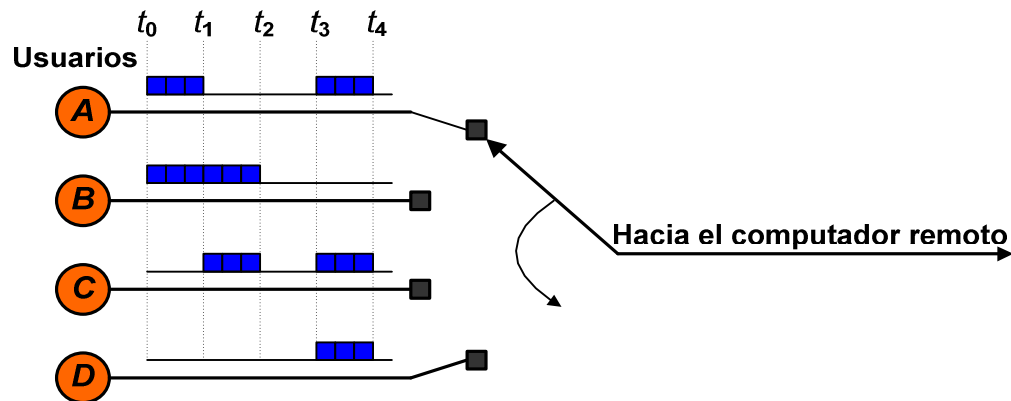
- **MUX-DEMUX:** tienen varias líneas de entrada/salida y una línea multiplexada entre ellos de velocidad superior. Cada línea de entrada/salida tiene asociada una memoria temporal (buffer).
- **Función del MUX-DEMUX:** leer los buffers de entrada aceptando los datos hasta completar una trama, para luego enviarla por la línea de salida. En el receptor, recibe la trama y distribuye los datos de las ranuras temporales a los buffers de salida correspondientes.

Diferencia de STDM con TDM

- **MUX-DEMUX estadístico:** hay n líneas de entrada/salida, pero sólo hay k ranuras temporales disponibles en cada trama, donde $k < n$. (En TDM sincrónico $k = n$).
- Al no transmitir durante todo el tiempo los dispositivos conectados, la velocidad de la línea de salida del MUX estadístico es menor que la suma de las velocidades de los dispositivos

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDM)

Funcionamiento



Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDM)

Funcionamiento

En la figura del slide anterior hay 4 fuentes generando datos sólo en algunos intervalos de tiempo.

- ✓ **Con MUX TDM:** se necesita una línea de salida con una velocidad de 4 veces la velocidad de un dispositivo de entrada; más allá que 2 de las 4 ranuras temporales transmitidas por el MUX TDM se encuentran vacías.
- ✓ **Con MUX STDM:** no se envían ranuras temporales vacías.
- ✓ Importante: obsérvese que con **STDM se pierde el significado posicional de las ranuras** porque no se sabe a priori qué fuente de datos de entrada utilizará cada ranura.
- ✓ Por lo tanto, dado que los datos se reciben desde las líneas de entrada de forma impredecible, **es necesario** contar con **información de direccionamiento** para asegurar que el envío se distribuirá de manera apropiada a cada línea de salida.

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDM)

Funcionamiento

- ✓ Sabemos que en STDM la velocidad de salida es menor que la suma de las velocidades de las entradas.
- ✓ Esto está permitido siempre que la cantidad media de datos que ingresan por segundo sea menor que la capacidad de la línea de salida.
- ✓ El problema de este enfoque es que, aunque el promedio de la entrada conjunta sea menor que la capacidad de la línea de salida, pueden haber períodos picos en los que la entrada exceda la capacidad de la línea de salida.
- ✓ Esto se soluciona incluyendo una memoria temporal o buffer en el multiplexor STDM que almacene temporalmente el exceso de datos de entrada.

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDm)

Un ejemplo de funcionamiento

Entrada(*)	Capacidad = 5.000 bps		Capacidad = 7.000 bps	
	Salida	Exceso	Salida	Exceso
6	5	1	6	0
9	5	5	7	2
3	5	3	5	0
7	5	5	7	0
2	5	2	2	0
2	4	0	2	0
2	2	0	2	0
3	3	0	3	0
4	4	0	4	0
6	5	1	6	0
1	2	0	1	0
10	5	5	7	3
7	5	7	7	3
5	5	7	7	1
8	5	10	7	2
3	5	8	5	0
6	5	9	6	0
2	5	6	2	0
9	5	10	7	2
5	5	10	7	0

(*) Entrada = 10 fuentes, 1.000 bits por fuente; velocidad de entrada promedio = 50 % del máximo.

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STD)

Funcionamiento

Obsérvese que existe una relación entre el tamaño de la memoria temporal usada y la velocidad de la línea de salida:

- ✓ Lo deseable, por razones de costo, sería usar menores valores posibles tanto de memoria como de velocidad en la línea de salida; pero una reducción en uno de estos valores requiere el incremento del otro. Se trata, pues, de una relación de compromiso entre ambos valores:
- ✓ Al reducirse la velocidad de la línea de salida debe aumentarse el tamaño de la memoria temporal. Pero esto, además, genera mayor retardo
- ✓ Por lo tanto, el verdadero compromiso es entre el tiempo de respuesta del sistema STD (máximo retardo admisible) y la velocidad de la línea de salida: mientras menor sea el retardo admisible, mayor velocidad debe tener la línea de salida

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDm)

Parámetros

I = número de las fuentes de entrada, **R** = velocidad en cada fuente, en bps.

M = capacidad efectiva de la línea de salida, en bps., α = fracción media de tiempo que transmite el conjunto de las fuentes, con $0 < \alpha < 1$

K = **M** / **IR** como la proporción entre la capacidad de la línea de salida y la entrada máxima total (En TDM, **K** = 1)

El parámetro **M** se ha definido teniendo en consideración los bits suplementarios que agrega el multiplexor para el envío: implica que la velocidad máxima a la que pueden transmitirse los bits de datos es menor que **M** (**M** será mayor cuanto más bits suplementarios haya)

Esa diferencia depende de la relación de número de bits suplementarios a número de bits de datos.

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDM)

Parámetros

- ✓ El parámetro **K** es una medida de la **compresión** alcanzada por el **MUX STDM**
- ✓ Ejemplo: para una capacidad del enlace **M** dada, si **K = 0,25**, con un **MUX STDM** se pueden gestionar **4 veces más** dispositivos que si se usara un **MUX TDM**
- ✓ Es importante que el valor de **K** esté acotado por: $\alpha < K < 1$
 - K = 1:** es el caso de un **MUX TDM**. Es decir: **todos** los dispositivos de entrada emiten datos **todo el tiempo**
 - K = α :** el promedio de la entrada es igual a la velocidad de la línea de salida. El multiplexor funcionará con una **memoria temporal finita** para responder en los tiempos picos.
 - K < α :** la entrada excederá la capacidad del MUX y se producirá **rebalse de datos**, puesto que aún con una memoria **infinita** el sistema será incapaz de evacuar los datos

Multiplexión por División de Tiempo estadística (STDM)

Ejercicio para aplicar STDM

A un MUX entran 20 líneas de 1 Mbps cada una. El promedio de transmisión de las líneas de entrada es $\alpha = 0,35$.

Calcule la velocidad de la línea de salida:

1. En un MUX TDM.
2. En un MUX STDM, considerando que la velocidad de salida debe ser un 20% mayor que el promedio de la entrada debido a la presencia de bits suplementarios en las ranuras.
3. Calcule el valor de K en los casos 1) y 2)

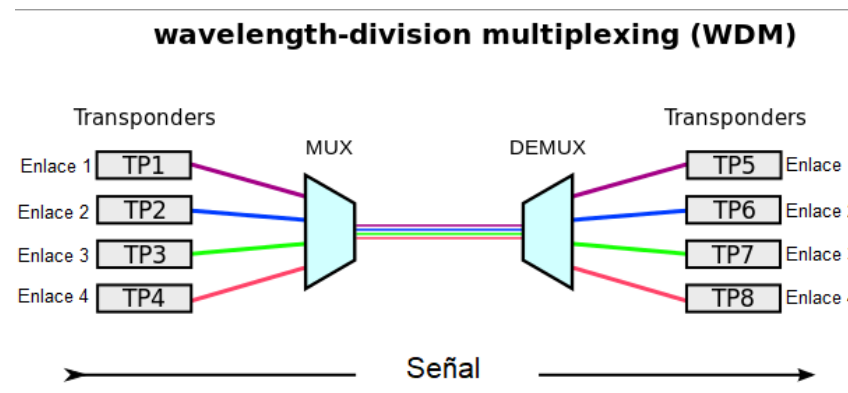
Multiplexión por División de Longitud de Onda (WDM)

Definición

WDM (Wavelength Division Multiplexing, multiplexación por división en longitudes de onda) consiste en: **Enviar varias señales a diferentes longitudes de onda (diferentes λ) por una misma fibra (luz de varios 'colores')**

WDM puede ser:

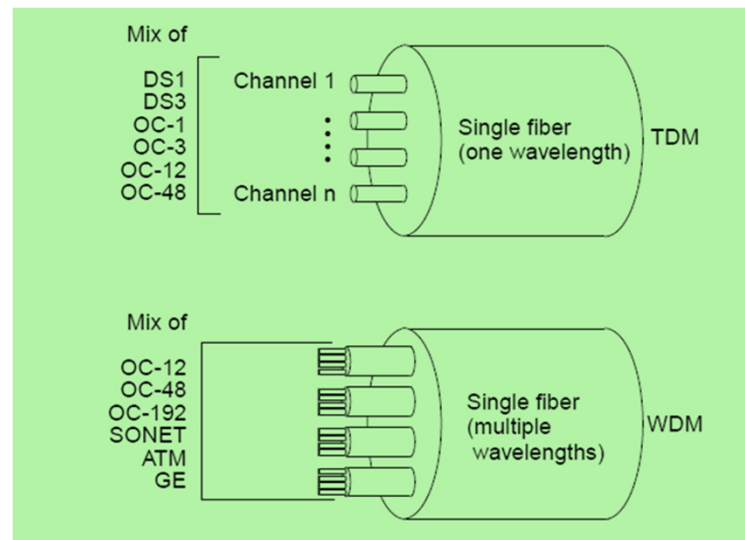
- ✓ Densa (DWDM, 'Dense' WDM): se utilizan 16 o más λ
- ✓ Ligera (CWDM 'Coarse' WDM): se utilizan 2 o 4 λ



Multiplexión por División de Longitud de Onda (WDM)

Funcionamiento

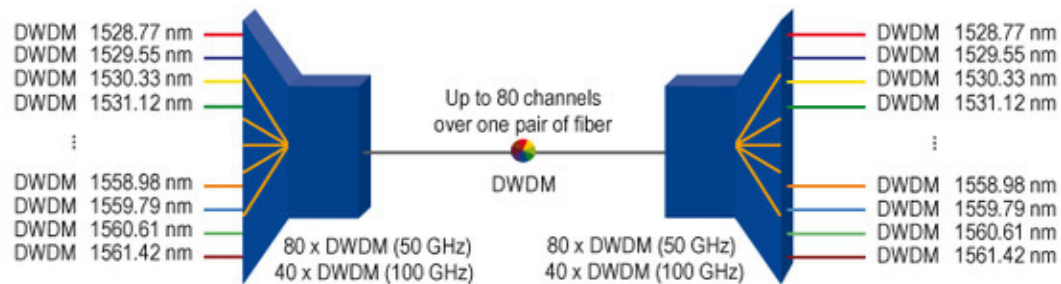
- ✓ WDM puede transportar múltiples protocolos sin un formato de señal común
- ✓ Multiplexa como FDM
- ✓ Sólo acepta señales ópticas (SDH acepta ópticas y eléctricas)



Multiplexión por División de Long. de Onda Densa (DWDM)

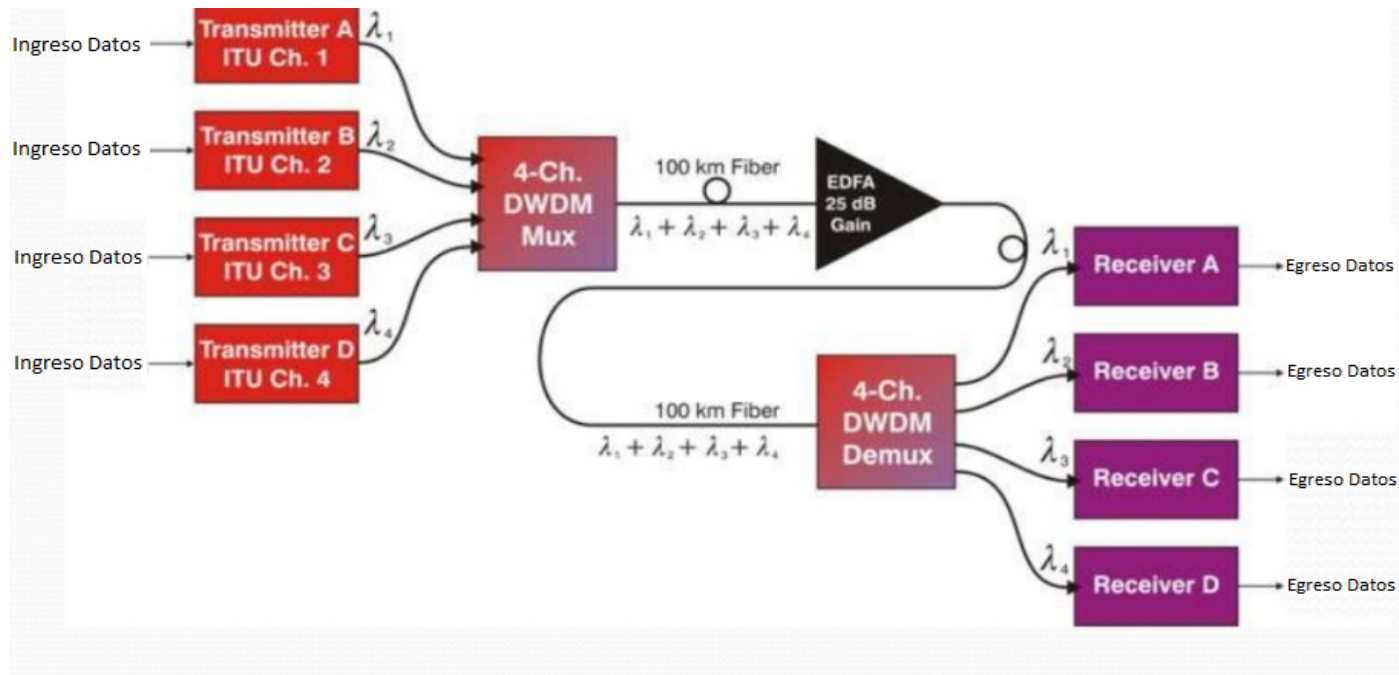
Funcionamiento

- ✓ Aumento de capacidad: Gran capacidad de transmisión agregada.
- ✓ Capacidad de actualización: crecimiento del cliente sin necesidad de fibra a colocar.
- ✓ Flexibilidad: multiplexación óptica de adición / eliminación (OADM), Conexión cruzada óptica (OXC)
- ✓ Escalabilidad: posibilidad de agregar nuevos nodos a la red.
- ✓ Transparencia de la red: independencia de la velocidad, el formato y Protocolos.



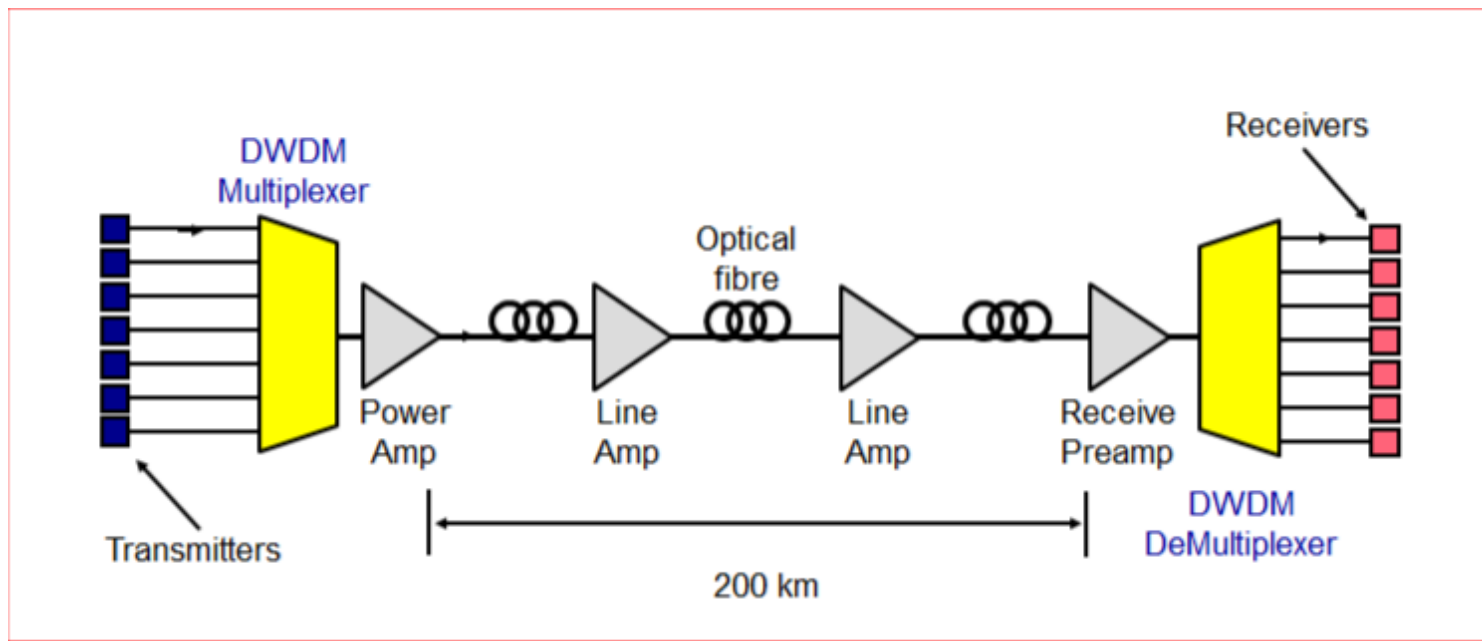
Multiplexión por División de Long. de Onda Densa (DWDM)

Funcionamiento: Requiere amplificadores



Multiplexión por División de Long. de Onda Densa (DWDM)

Funcionamiento: Requiere amplificadores (OA)



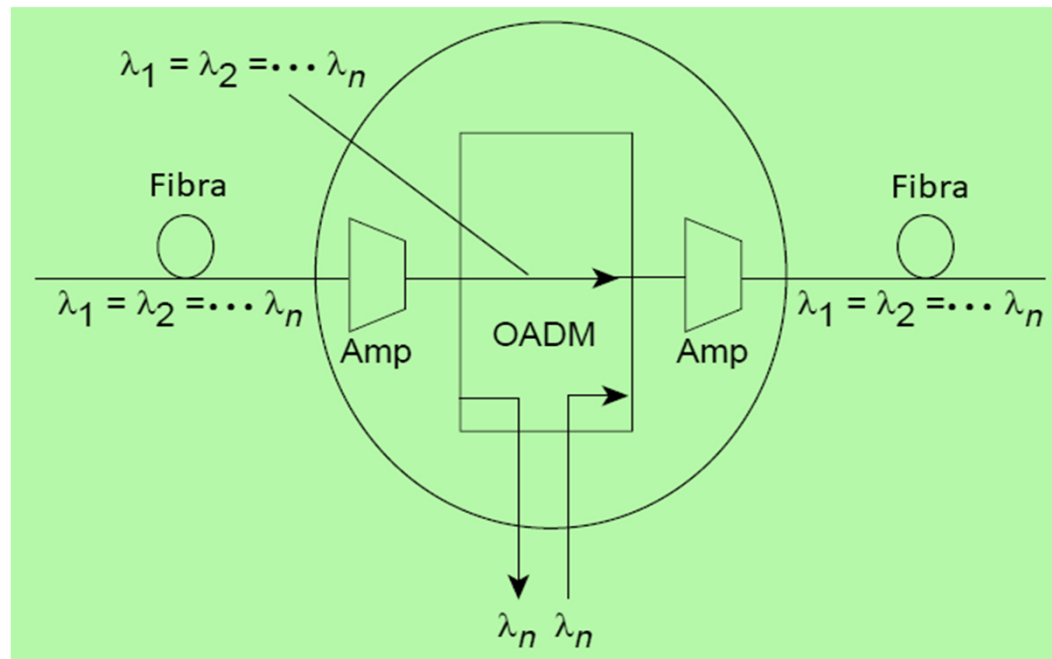
Multiplexión por División de Long. de Onda Densa (DWDM)

Funcionamiento: Amplificador Óptico (OA)



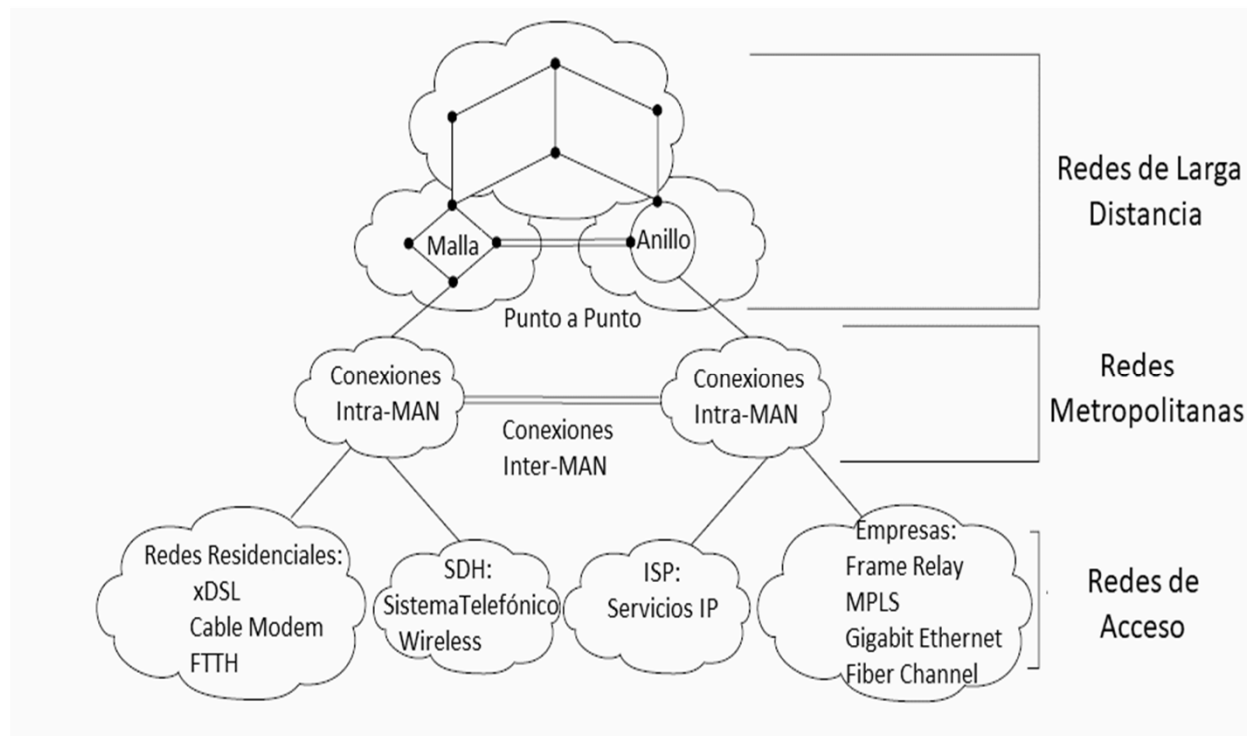
Multiplexión por División de Long. de Onda Densa (DWDM)

Funcionamiento: Multiplexores Ópticos (OADM)



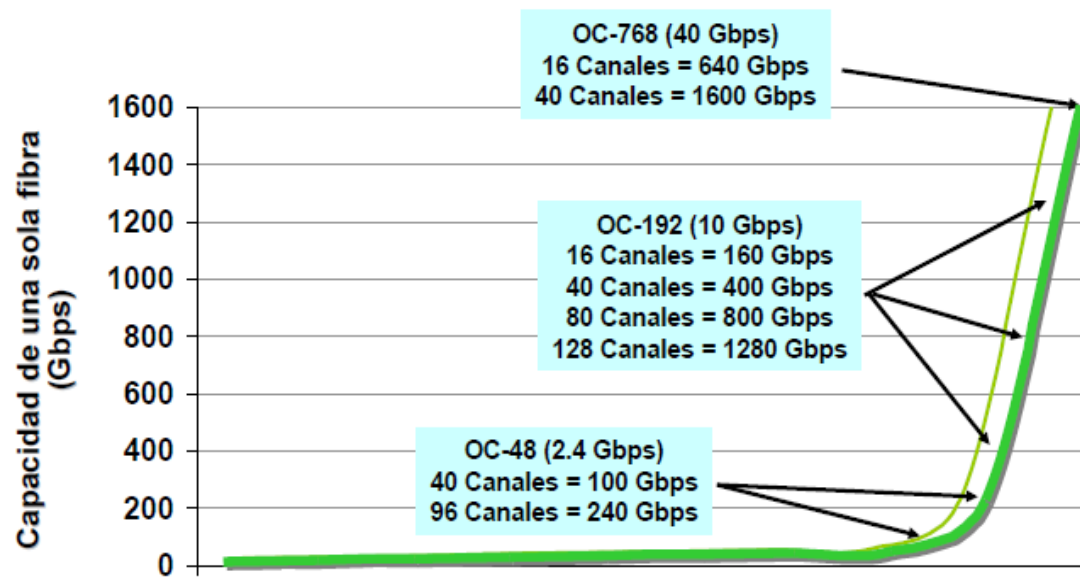
Multiplexión por División de Long. de Onda Densa (DWDM)

Redes basadas DWDM



Multiplexión por División de Long. de Onda Densa (DWDM)

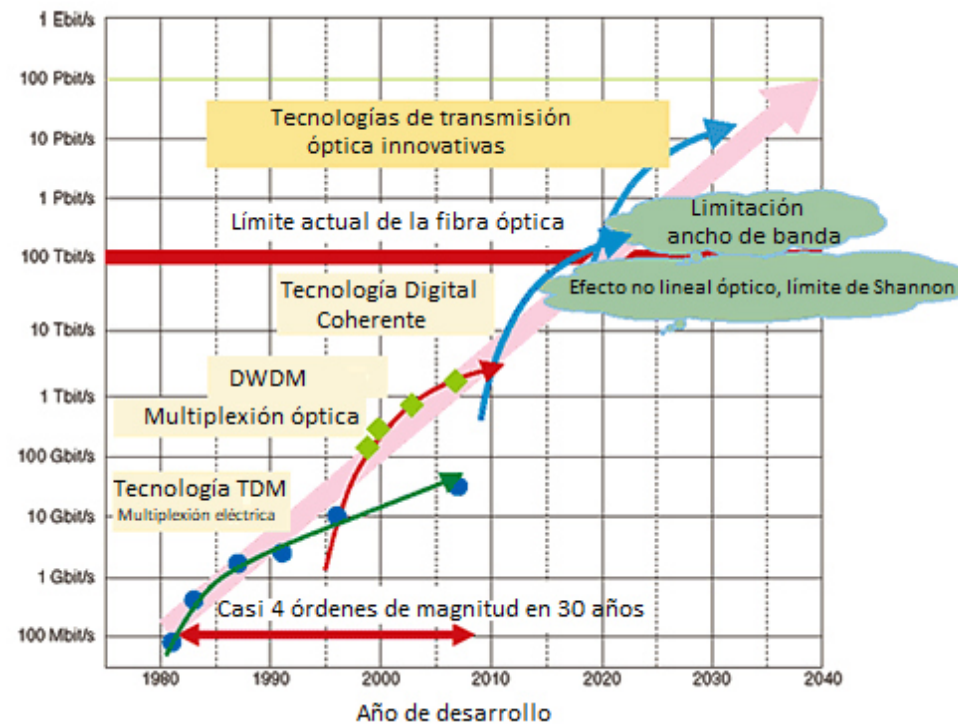
Redes basadas DWDM



Capacidad total de una sola fibra con DWDM

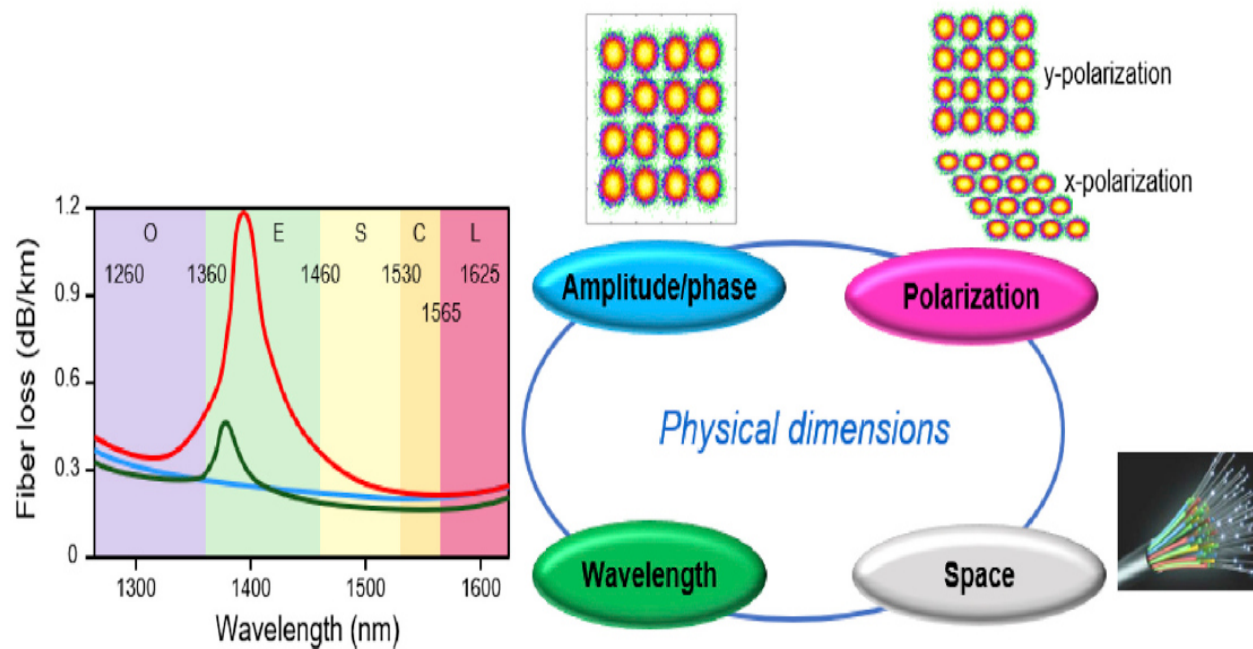
Tecnología Digital Coherente

Ampliando las capacidades de DWDM



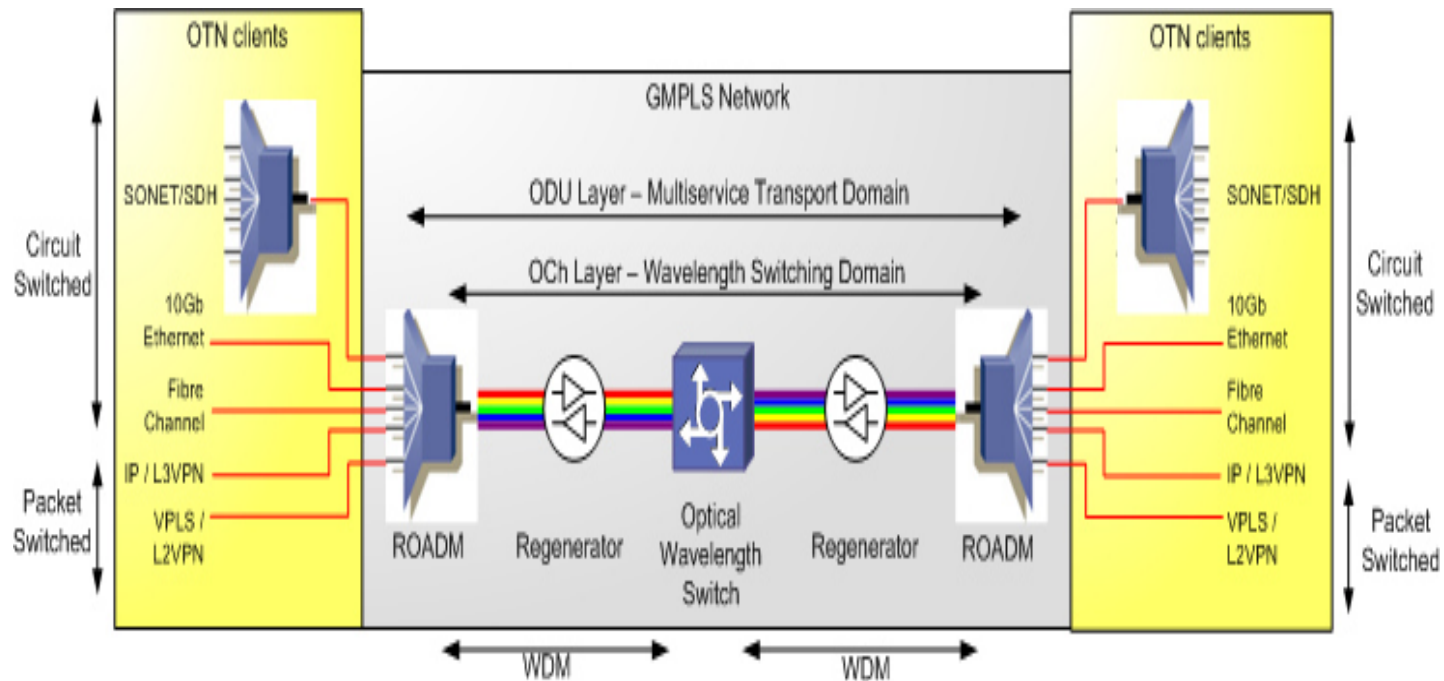
Tecnología Digital Coherente

Ampliando las capacidades de DWDM



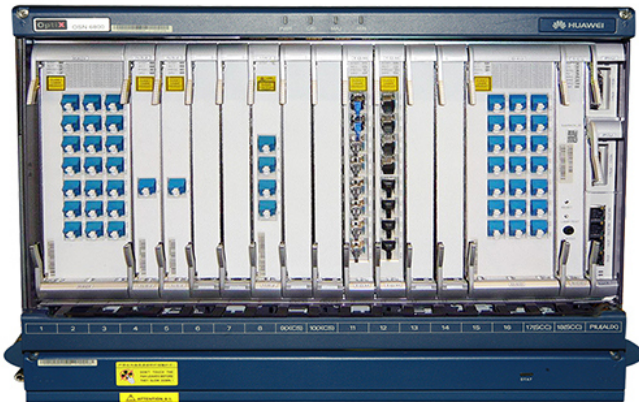
Redes de Transporte Óptico (OTN)

Más y más velocidad (OTH – Optical Transport Hierarchy)



Redes de Transporte Óptico (Jerarquía de Transporte Óptico)

Más y más velocidad – Huawei Optical OSN6800



OptiX OSN 6800

Specifications		OptiX OSN 6800
Dimensions (mm)		497 (W) x 295 (D) x 400 (H)
Number of slots for service boards		17
Switch	Optical	1 to 9-degree ROADM
	Electrical	•180G GE •360G 10GE/ODUK(k=1, 2, 2e)
Wavelength (max)		DWDM: 80-ch, CWDM: 8-ch
Wavelength range		DWDM: 1529.16 nm to 1560.61 nm (Band-C, ITU-T G.694.1) CWDM: 1471 nm to 1611 nm (Band S+C+L, ITU-T G.694.2)
Max. rate per channel		100 Gbit/s (OTU4)
Max. distance		Multi-span transmission: 32 span x 22 dB/span (10G), 25 span x 22 dB/span (40G), 20 span x 22 dB/span (100G) without electrical regeneration Ultra-long single-span transmission: 1 span x 81 dB/span (10G), 1 span x 71 dB/span (40G)
Service types supported		SDH, SONET, Ethernet, SAN, OTN, Video
Line rate		2.5 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s, 100 Gbit/s
Max. capacity per PID group		120 Gbit/s
Topology		Point-to-point, chain, star, ring, ring-with-chain, tangent ring, intersecting ring and mesh

Temas a tratados

1. Multiplexión por división de frecuencias (FDM)
2. Multiplexión por división de tiempo (TDM)
3. Multiplexión por división de tiempo estadística (STDM)
4. Multiplexión por división de longitud de onda (WDM)
5. Redes Ópticas (ONT – Optical Transport Network)

FINAL DEL MÓDULO 3
