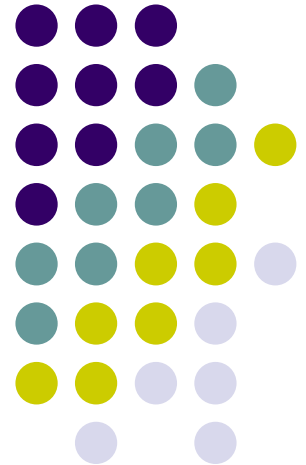


# PRINCIPIOS BASICOS EN TELECOMUNICACIONES

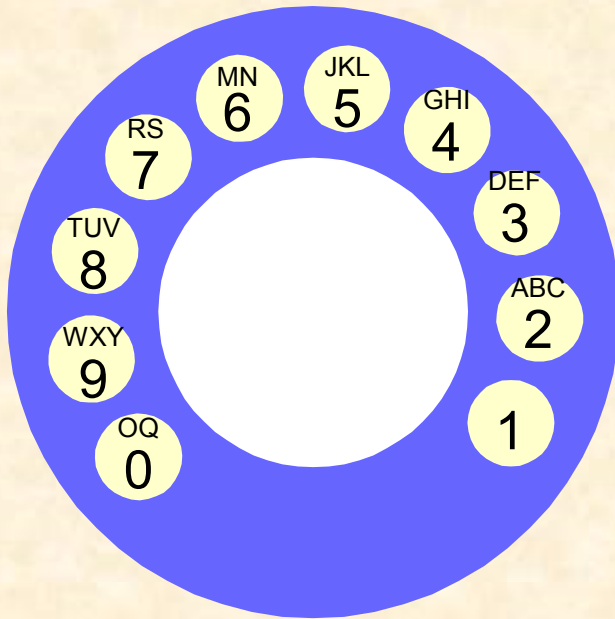
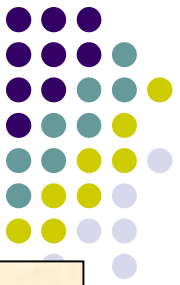
---

## MULTIPLEX

Ing. Rodrigo Silva T.



# Teléfonos análogos



Disco de aparato de abonado análogo de pulsos

Conjunto de frecuencias superiores (Hz)

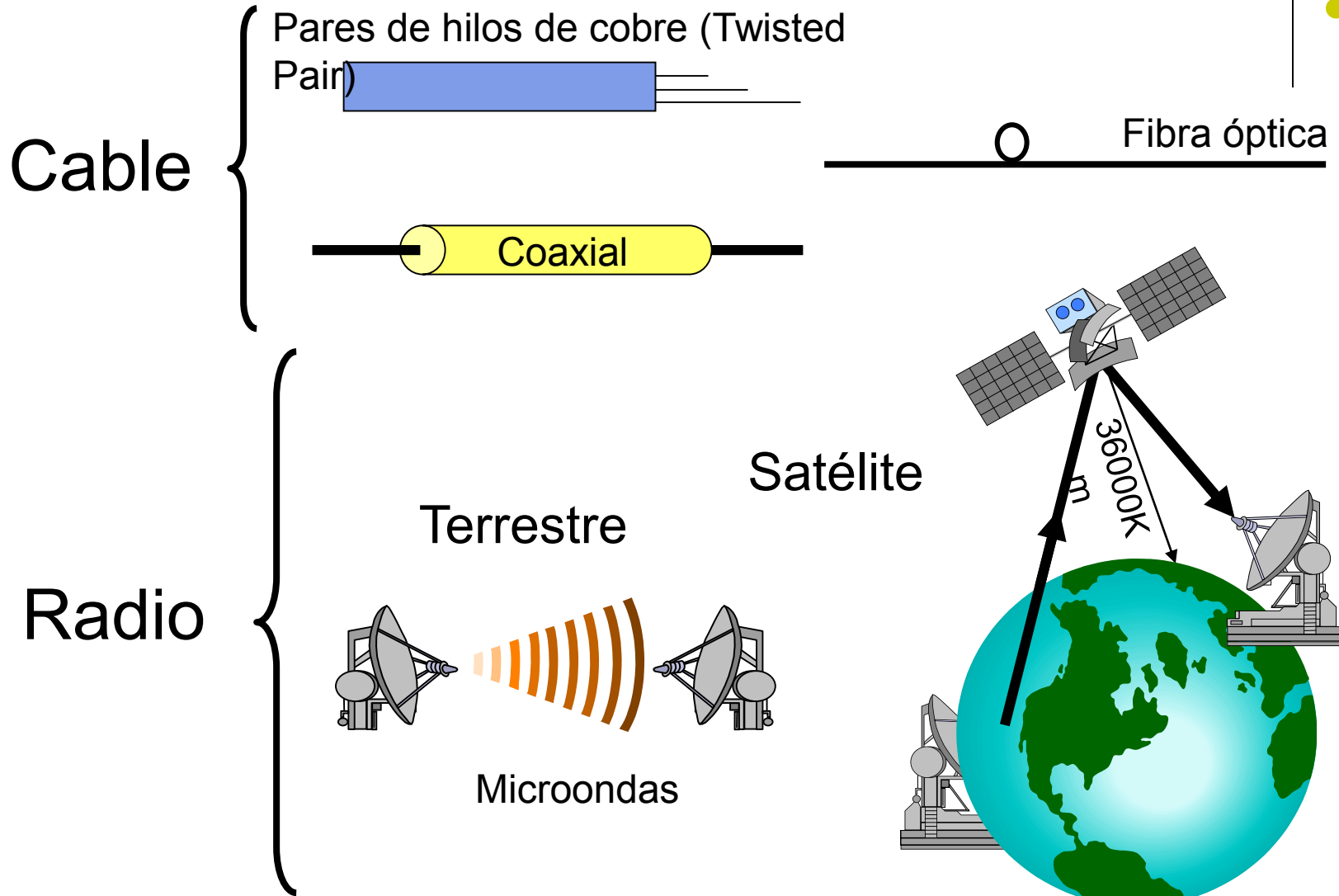
Hz	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

Conjunto de frecuencias inferiores (Hz)

Teclado de 16 pulsadores de abonado análogo de tonos o multifrecuencial

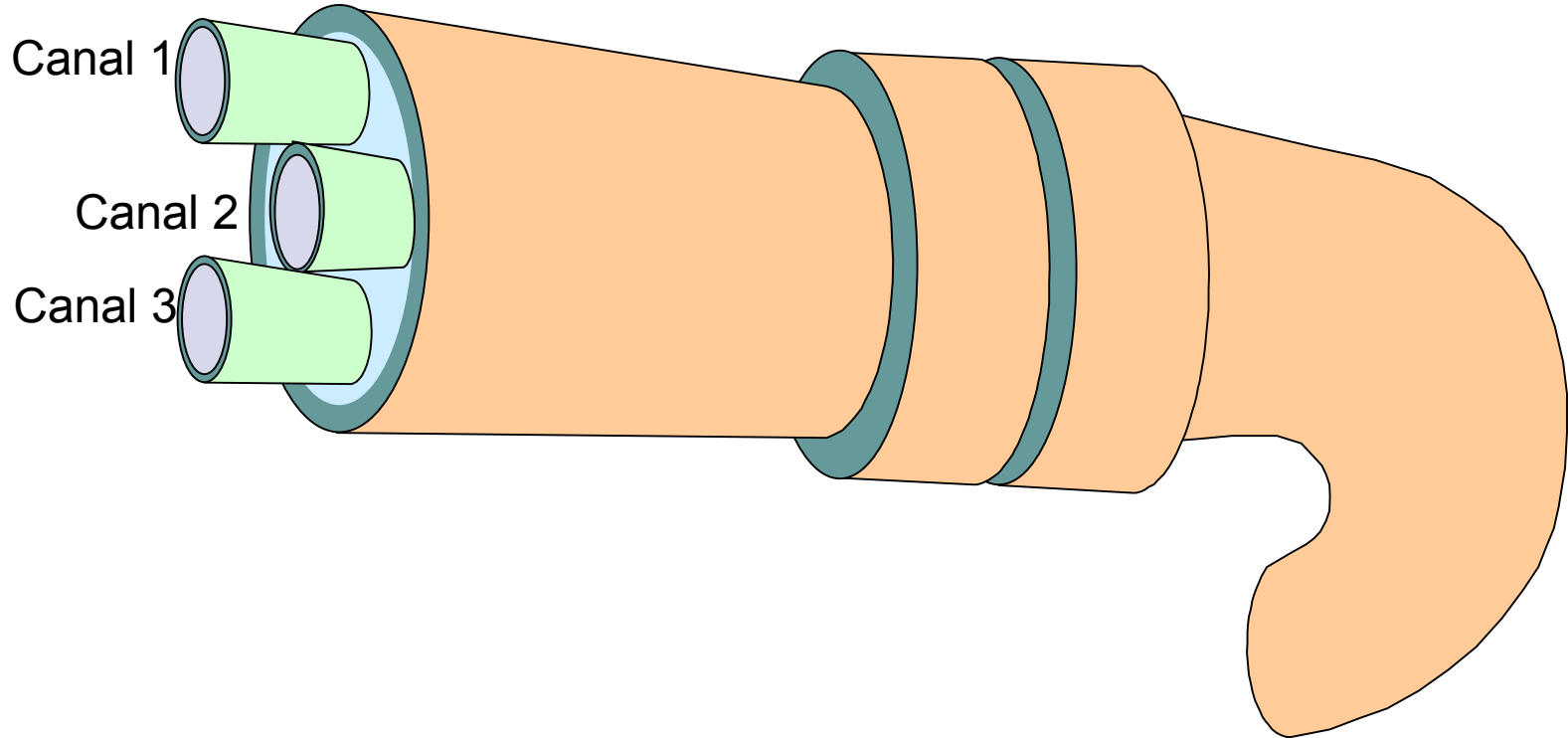


# Medios de transmisión



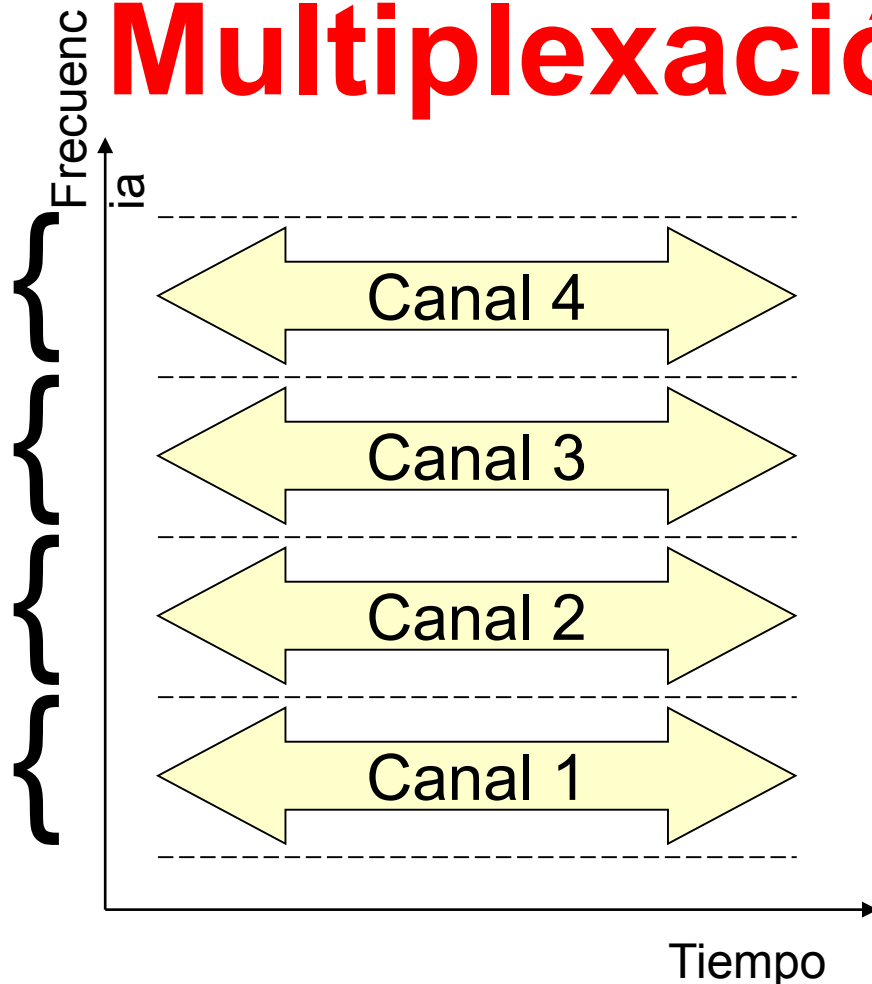
# Multiplexación

La función principal es compartir una línea de comunicación (medio de transmisión) para transmitir simultáneamente varias señales de información.

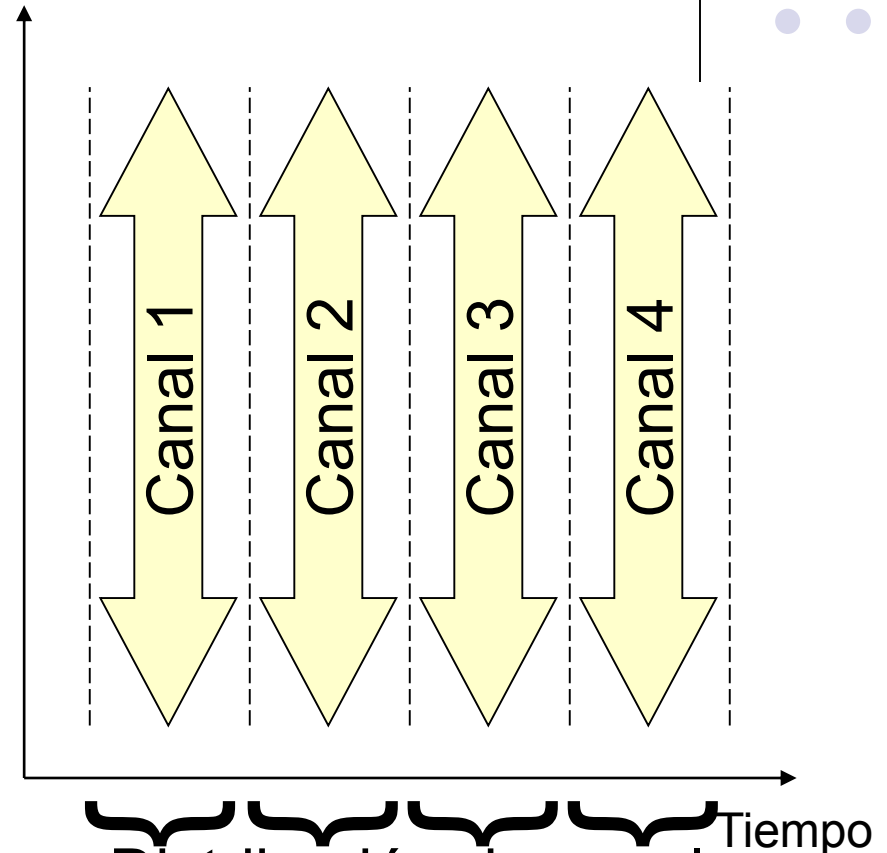




# Multiplexación



Distribución de canales  
en el dominio de la  
frecuencia (FDM)



Distribución de canales  
en el dominio del tiempo  
(TDM)

# Multiplexación



- Las redes de transporte tal y como se conocen hoy en día han evolucionado como un mecanismo para transmitir conversaciones telefónicas entre terminales (CONMUTACION DE CIRCUITOS).
- Hasta el principio de la década de los setenta esto se llevaba a cabo utilizando cables de pares de cobre que unían la central sobre los que multiplexaban las señales para ahorrar así costos en infraestructuras de comunicaciones.
- La central origen agregaba el tráfico hacia otra central destino utilizando técnicas de multiplexación por división en frecuencia FDM.

# Multiplexación



- En los comienzos de los años 1960 todos los sistemas de conmutación y transmisión eran analógicos.
- En este periodo, expertos en transmisión estuvieron trabajando en PCM para transformar las señales de voz analógicas en cadenas digitales de bits.
- Su principal propósito fue resolver el problema de la presencia de demasiados hilos de cobre en las calles y la ausencia de espacio para instalar nuevas líneas.



# Multiplexación

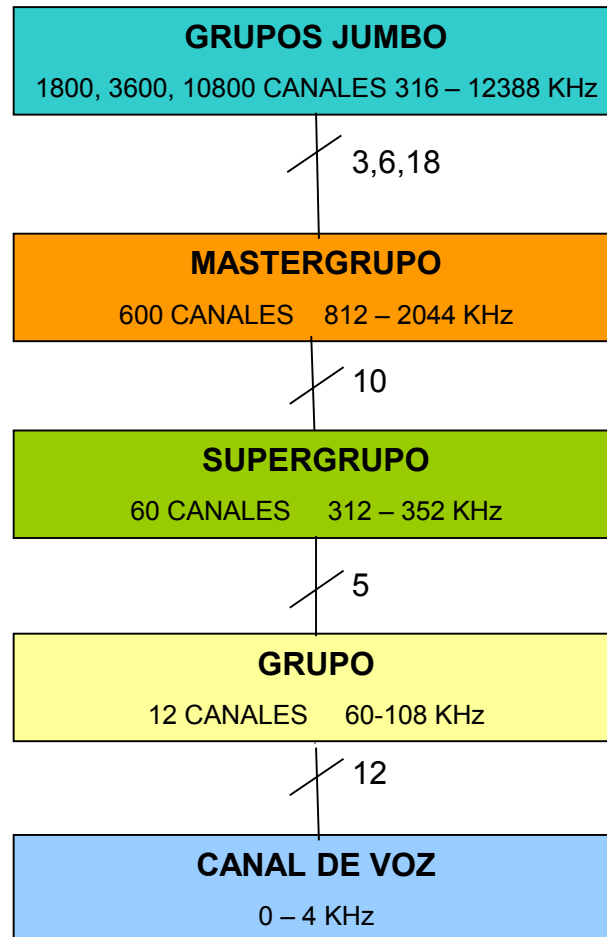
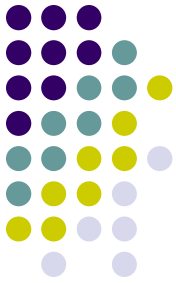
- Según aumentaba la demanda del servicio telefónico se hizo necesario definir nuevas estructuras TDM que permitieran agregar flujos mayores de canales por el mismo medio de transmisión.
- De esta manera los organismos de normalización europeos definieron nuevas tramas formadas por multiplexación de las anteriores, dando lugar a lo que se conoce como una jerarquía de multiplexación.
- Orígenes con los sistemas plesiócronicos (PDH)
- Sistemas de Jerarquía Digital Sincrónica (SDH)





# MULTIPLEX FDM

# JERARQUÍA FDM



# CANAL BASICO DE VOZ



El circuito de banda de voz (VB) básico se llama canal 3002 y, en realidad, tiene una limitación de banda de 300 a 3000 Hz, aunque por razones prácticas está considerado como un canal de 4 KHz. El canal 3002 básico se puede subdividir en 24 canales 3001 más angostos (telégrafo) que fueron usados en la multiplexación por división de frecuencia para formar un solo canal 3002.

# GRUPO



Un grupo básico está formado de **12 canales de banda de voz apilados**, unos junto a otros, en el dominio de la frecuencia. El bloque de modulación de 12 canales se llama un banco de canales de tipo A (analógico). La salida del grupo de 12 canales, del banco de canales de tipo A es el bloque estándar para construir la mayoría de los sistemas de comunicación de banda ancha de largo alcance. Se realizan sumas y supresiones en la capacidad total de un sistema con un mínimo de un grupo (12 canales VB).

# SUPERGRUPO



Es la combinación de cinco grupos en un supergrupo. La multiplexación de cinco grupos se realiza en un banco de grupos. Un solo supergrupo puede llevar información de **60 canales VB** o manejar datos de alta velocidad de hasta **250 Kbps**.



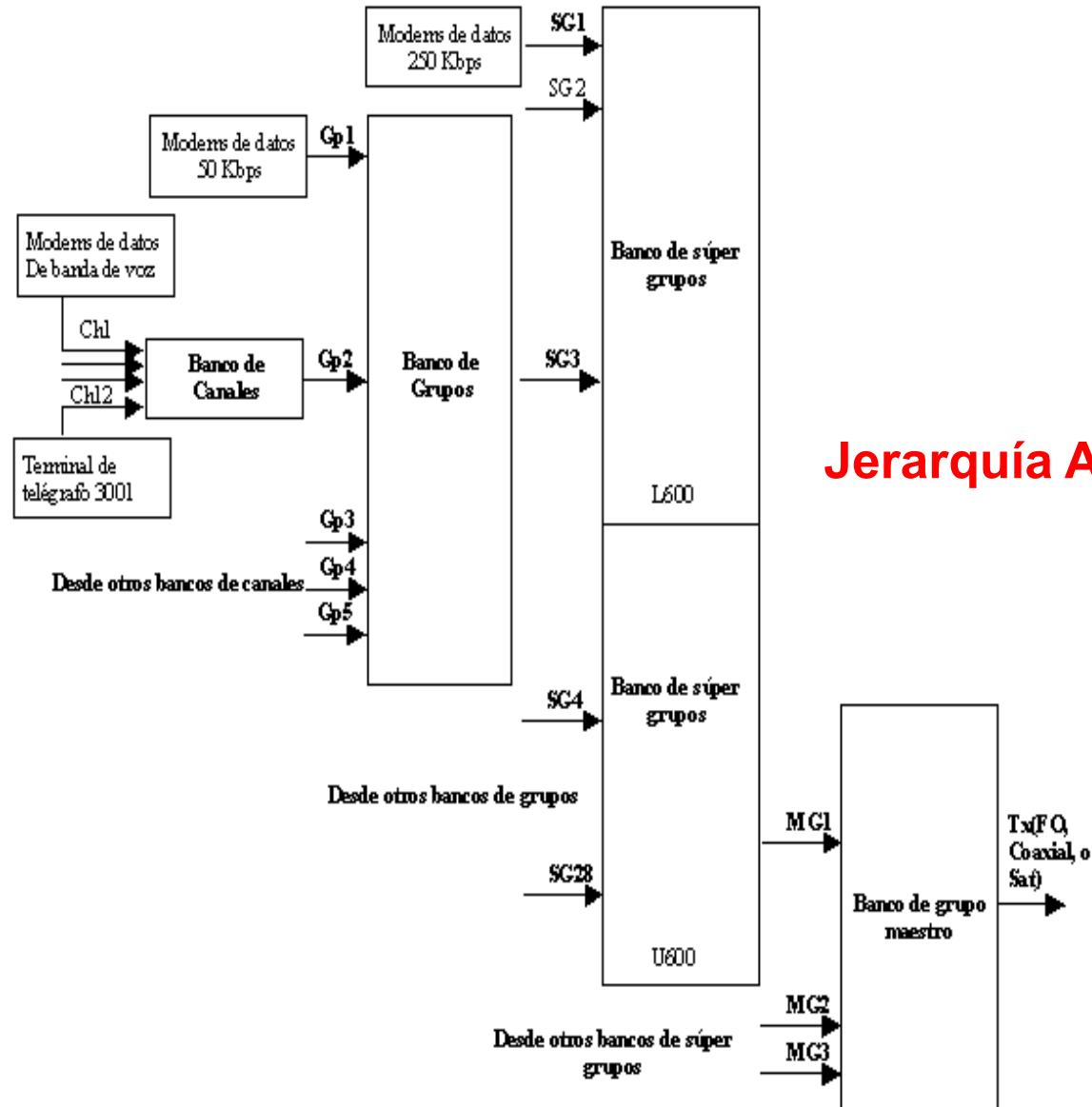
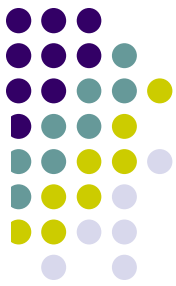
# GRUPO MAESTRO

- Un grupo maestro está formado **de 10 supergrupos (10 supergrupos de 5 grupos cada uno = 600 canales VB)**. Los supergrupos se combinan en bancos de supergrupos, para formar grupos maestros. Hay dos categorías de grupos maestros (U600 y L600), que ocupan diferentes bandas de frecuencia. El tipo de grupo maestro utilizado depende de la capacidad del sistema y si el medio de transmisión es un cable coaxial, un radio de microondas, una fibra óptica o un enlace satelital.

# AGRUPACIONES MAS GRANDES



Los grupos maestros pueden multiplexarse aún más en bancos de grupos maestros para formar grupos jumbo, multigrupos jumbo, y supergrupos jumbo. Un canal de radio de microondas, FDM/FM básico, lleva tres grupos maestros **(1800 canales VB)**, un grupo jumbo tiene 3600 canales VB, y un supergrupo jumbo tiene **3 grupos jumbo (10800 canales VB)**.







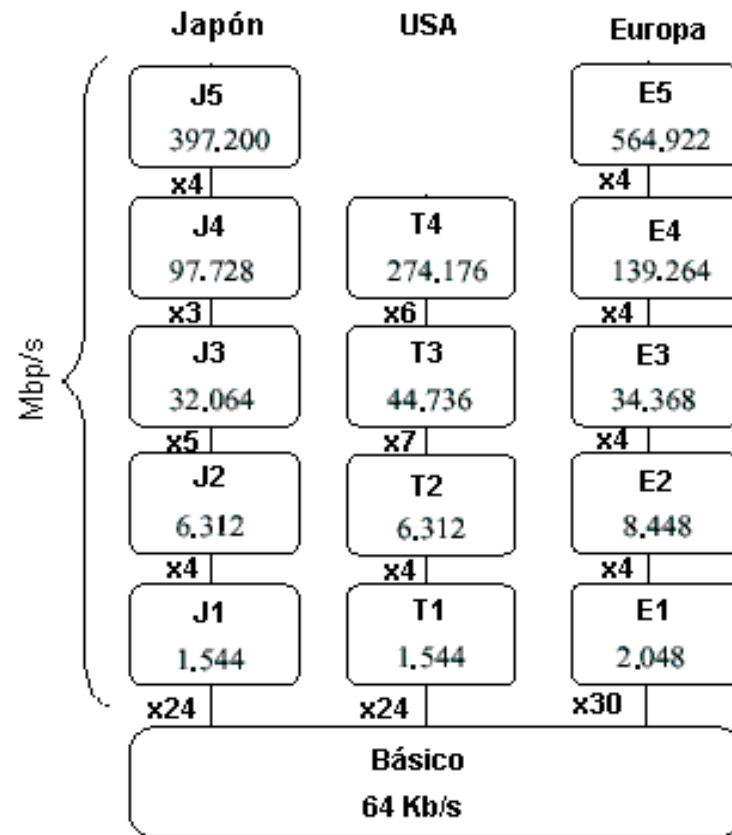
# MULTIPLEX TDM

# JERARQUIA DIGITAL PDH



- El estándar americano (1962) con 24 señales de voz multiplexadas juntas con un bit de tramado para formar una señal de 1.544 Mbps llamada DS-1 (T1).
- En 1968 Europa desarrolló su estándar con 30 canales de voz más un canal para "framing", que consiste en un método para indicar dónde empezar a contar canales, y un canal para señalización, con un total de 32 canales de 64 Kbit/s dando 2.048 Mb/s. Esto conformaba el formato E1.

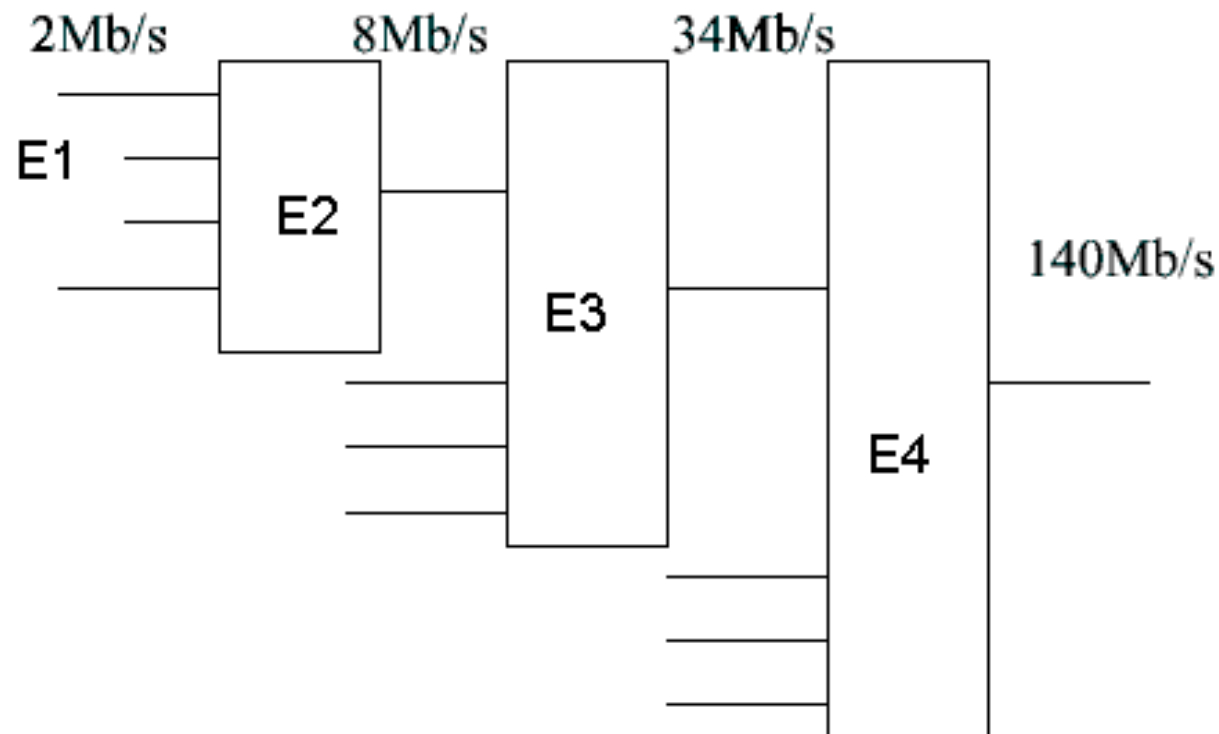
# JERARQUIA DIGITAL PDH



# JERARQUIA DIGITAL PDH



- El siguiente gráfico muestra como se realizan las sucesivas multiplexaciones hasta llegar a la jerarquía más alta que se encuentra estandarizada



# JERARQUIA DIGITAL PDH

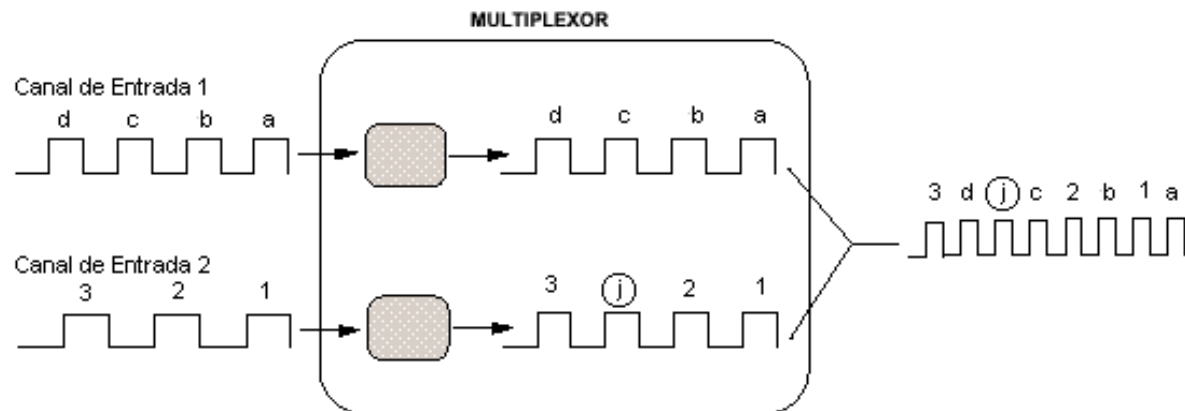


- La multiplexión, en la jerarquía PDH, se realiza utilizando el método de entrelazado bit a bit.
- En la multiplexación, habría que diferenciar dos casos:
  - Las señales originales son sincrónicas, por ejemplo tienen exactamente el mismo reloj.
  - Las señales originales no son sincrónicas, por ejemplo sus relojes provienen de distintos lugares.
- Para solventar este problema se recurre a un mecanismo algo complejo que consiste en introducir en las líneas bits de relleno para acomodar la velocidades de los canales a la del multiplexor.

# JERARQUIA DIGITAL PDH



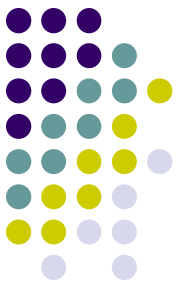
- Esta operación de inserción y extracción de bits de relleno se realiza al multiplexar en cada uno de los niveles de la jerarquía.
- Por este motivo localizar una señal de 64 Kb/s dentro de una trama de nivel 4 (140 Mb/s) supone demultiplexar todos los niveles uno a uno, identificando los bits de relleno, hasta el nivel inferior.



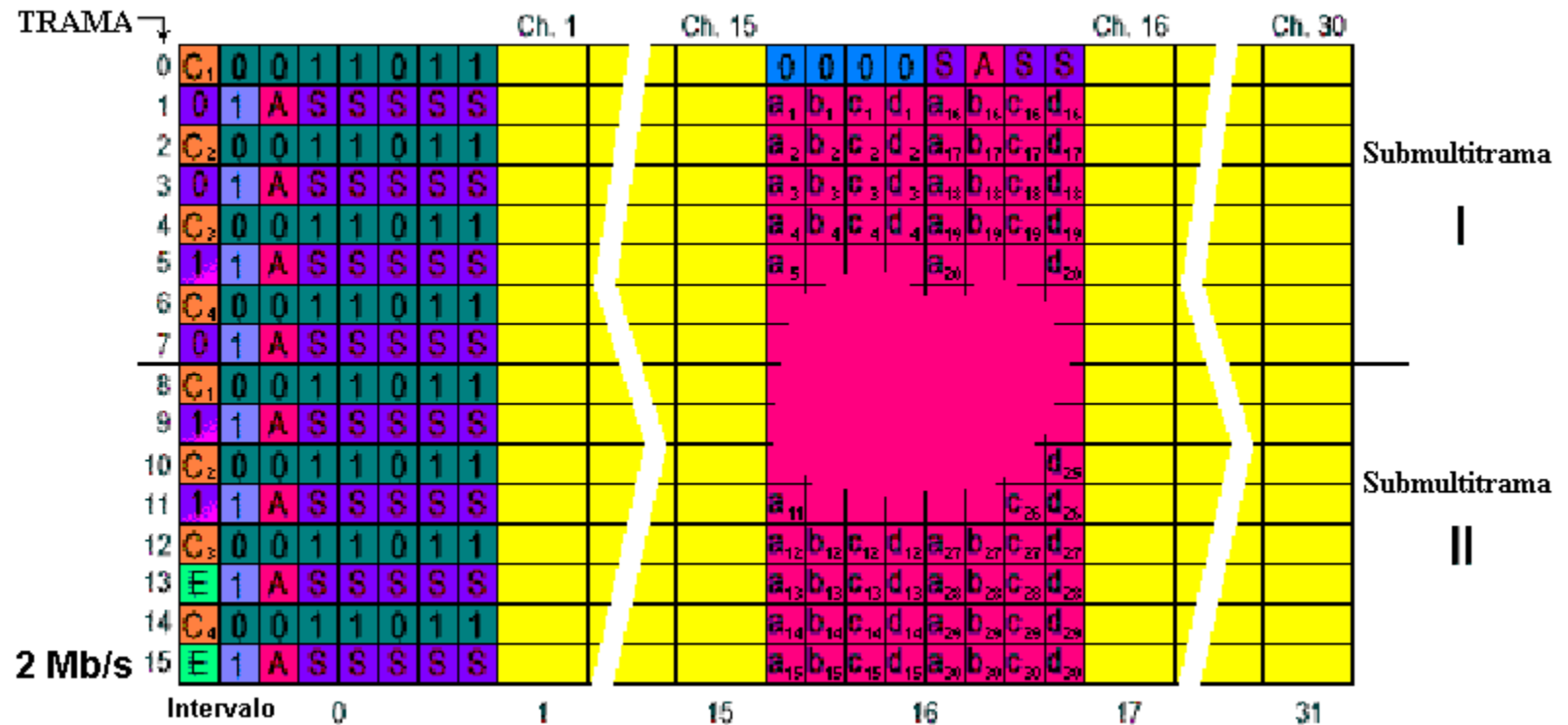


# TRAMAS PDH

- PORQUE PLESIOCRONO?
- Japón y USA, en la que 24 canales de voz son transportados en la trama.
- Europa (**CEPT**), se tuvo un cuidado especial en proporcionar servicios de señalización y sincronización en la trama E1.
- En este caso 30 canales de voz son transportados por la trama, además de dos canales, de la misma capacidad que el canal de voz, que permiten la transmisión de información de alineamiento de trama, comunicación de alarmas y bits de CRC.



# Primer Nivel Trama (E1)





# Alineamiento de Trama (E1)



- PDH a cualquier nivel es una tecnología de transmisión estructurada, y por lo tanto cada bit, tiene un significado y una función, y para una correcta comprensión, es completamente necesario tener una indicación del inicio de la trama.
- Para que el receptor de la trama básica E1 pueda reconocer el inicio de la trama una estructura de bits especial se inserta en el inicio de algunas tramas.
- Una señal de alineamiento de trama (FAS), se introduce en el principio de las tramas pares.
- El byte restante en las tramas impares es denominado NFAS (No FAS) y es utilizado para el transporte de información de alarmas.

# FAS y CRC-4 (E1)



- Dentro del byte de FAS el primer bit se dedica a realizar un CRC-4, por lo tanto es necesario recibir 4 FAS para formar el código que permite el reconocimiento de una correcta sincronización y recepción de tramas.
- En la siguiente figura se presenta la trama E1 completa, a la que se denomina Multitrama; esta formada por 16 tramas básicas, con una duración cada una de ellas de 125  $\mu$ s.
- Entonces, la multitrama tiene una duración total de 2 ms.

# Canal de Señalización y Multitrama (E1)



- El slot número 16 de cada trama básica de 2 Mbit/s se reserva para el transporte de protocolos de señalización para los 30 de 64 kbit/s que llegan directamente a los usuarios de la PSTN.
- Por esta razón, los multiplexores de la red deben modificar la información de señalización de los canales.
- Cada canal tiene asignado un espacio de señalización de 2 kbit/s en la multitrama E1, a través de 4 bits (conocidos genéricamente como a,b,c y d) en el canal 16, que constituye un canal de señalización de 64 kbit/s.

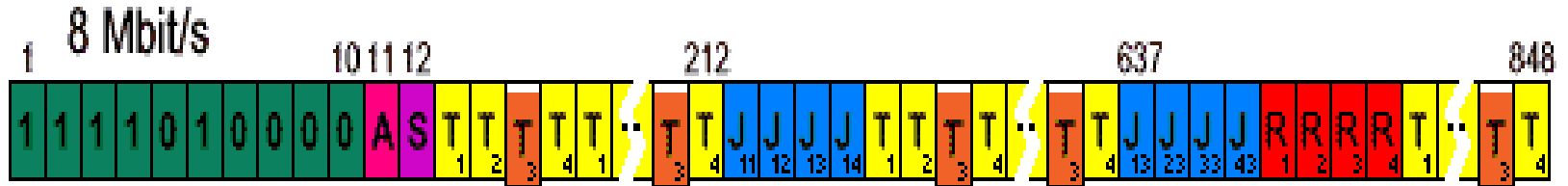
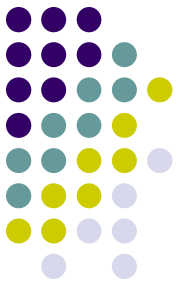
# Administración de Alarmas (E1)



- Para la transmisión de alarmas, PDH hace uso de los campos NFAS y NMFAS.
- Cuando un ADM detecta una disminución en la calidad de transmisión, o porque el nivel de error es demasiado alto o debido a un desalineamiento de trama detectado, debe comunicar este hecho al otro extremo de la conexión, es decir, al transmisor.

•  
Un procedimiento similar es efectuado por la señal de NMFAS. Cuando el receptor pierde el sincronismo de multitrama, envía hacia atrás una alarma en el sexto bit del primer byte del canal 16, esta alarma es denominada AIS64, o señal de indicación de alarma

# Segundo Nivel de Multiplexación (E2)



- Este nivel de Multiplexación está formado por cuatro niveles E1 con una tasa de 8 Mbps que se dividen en cuatro bloques, que están separados por los bits de control de justificación.
- Los bloques segundo y tercero son idénticos, una multiplexión simple de las señales transportadas de 2 Mbit/s, mientras que el primer y cuarto bloques son diferentes.

# Trama E2

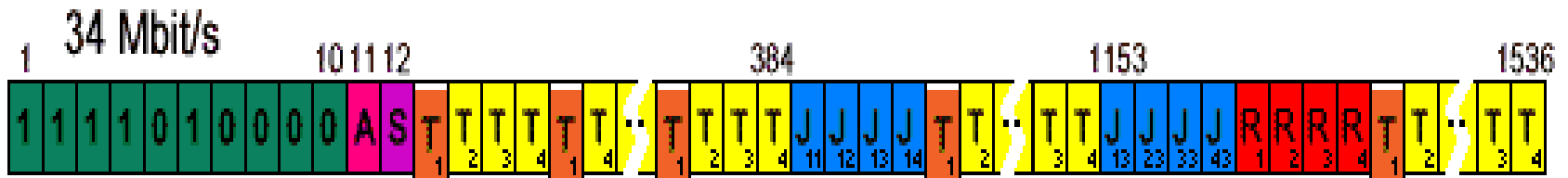


- El primer bloque contiene la palabra de FAS (1111010000), el bit **A** de alarma urgente, los bits sobrantes S, reservados para uso nacional (a veces utilizados como alarma no urgente) y 20 bits de información.
- El cuarto bloque contiene cuatro bits de justificación (**R**), para cada tributaria contenida en la señal de E2, y más bits de información.
- Como ya ha sido señalado, la justificación es positiva, eso significa que la justificación no contiene información la mayoría del tiempo.
- Estos bits están distribuidos a lo largo de la trama para minimizar la probabilidad de que un error pueda modificar a dos de ellos, y la decisión es tomada por mayoría.

# Tercer Nivel de Multiplexación (E3)



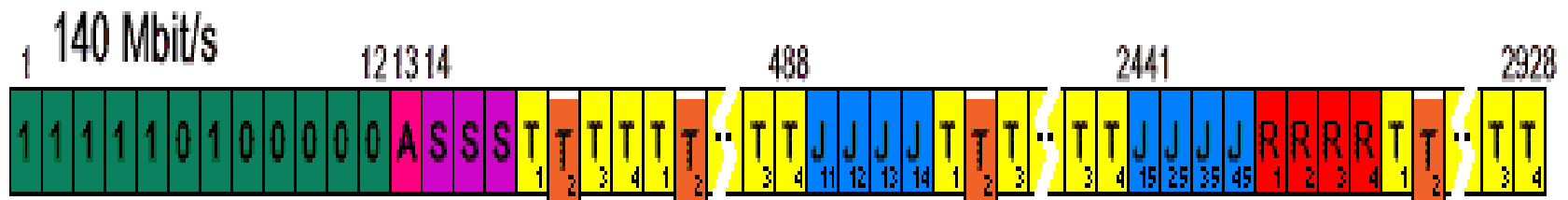
- La estructura de trama de la señal de 34 Mbit/s está definida en la recomendación G.751 de la ITU-T.
- Esta trama tiene una longitud total de 1536, siendo la estructura de multiplexación idéntica a la utilizada en el nivel de 8 Mbit/s, con la única diferencia que el coeficiente de justificación para la señal de 8 Mbit/s es de 43.6%.



# Cuarto Nivel de Multiplexación (E4)



- La estructura de trama de la señal E4, está definida en la recomendación G.751 de la ITU-T.
- En este caso, pueden verse 6 bloques diferentes, mientras, en los otros niveles, únicamente el primer y el último bloque eran diferentes.
- La palabra de alineamiento de trama es también diferente: 111110100000, siendo el coeficiente de



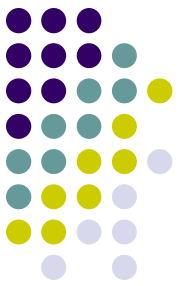


# INCONVENIENTES EN PDH



- ✓ **DIFERENTES RELOJES EN CADA NODO (Multiplex asincrónico) GENERAN PROBLEMAS TALES COMO:**
- ✓ Si la tasa binaria de una línea es mayor de la del multiplexor, este no tendrá tiempo de llegar a leer todos los bits en cada reinicio.
- ✓ Si la tasa binaria de una línea es menor de la del multiplexor, puede ocurrir que este lea el mismo bit en dos lecturas sucesivas .
- ✓ Para subir o bajar tributarios pequeños desde una trama E3 ó E4 es necesario demultiplexar completamente en todos los niveles inferiores (mayor costo).

# JERARQUIA DIGITAL SINCRÓNICA (SDH)



- En el año 1985 la empresa Bell Core, le hace una propuesta al ANSI de estandarizar las velocidades mayores a 140Mb/s, que hasta el momento eran propietarias de cada empresa.
- En 1986, la Bell Core, y la AT&T, proponen al CCITT, posibles velocidades de transmisión para que las mismas sean estandarizadas, cada una de estas empresas propone diferentes velocidades transmisión posibles.
- En Noviembre de 1988 se produce la primera regulación de la Jerarquía Digital Sincrónica (JDS), o más conocida por sus siglas en la lengua inglesa Synchronous Digital Hierarchy (SDH).

# Definición de SDH:

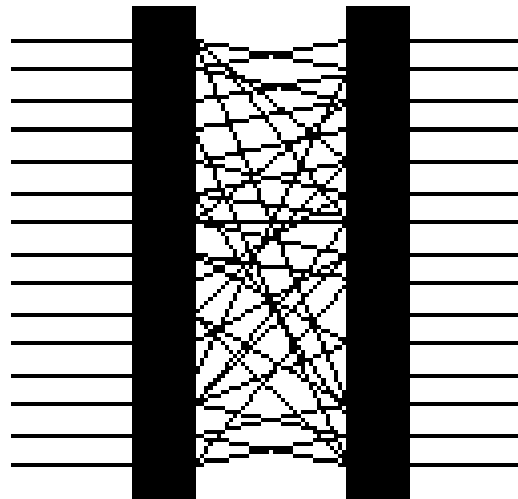


- SDH es un estándar para redes de telecomunicaciones de “alta velocidad, y alta capacidad” .
- Este es un sistema de transporte digital realizado para proveer una infraestructura de redes de telecomunicaciones más simple, económica y flexible.
- Las viejas redes fueron desarrolladas en el tiempo en que las transmisiones punto a punto eran la principal aplicación de la red.
- Hoy en día los operadores de redes requieren una flexibilidad mucho mayor. El siguiente gráfico muestra la distribución de trama de un nodo de cross-conexión plesiocrónico.

# SDH



- El concepto de un sistema de transporte síncrono, basado en normas SDH, trasciende las necesidades básicas de un sistema de transmisión punto a punto, e incluye los requisitos de las redes de telecomunicaciones: conmutación, transmisión y control de la red.



# ¿Por qué SDH?



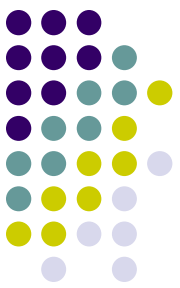
- A partir de la introducción de la tecnología PCM (Pulse Code Modulation) hacia 1960, las redes de comunicaciones fueron pasando gradualmente a la tecnología digital en los años siguientes.
- Para poder soportar la demanda de mayores velocidades binarias surgió la jerarquía PDH.
- Pero como las velocidades de transmisión de esta jerarquía no son las mismas para EEUU y Japón que para Europa, los gateways (pasarelas) entre redes de ambos tipos es compleja y costosa.

# Ventajas SDH

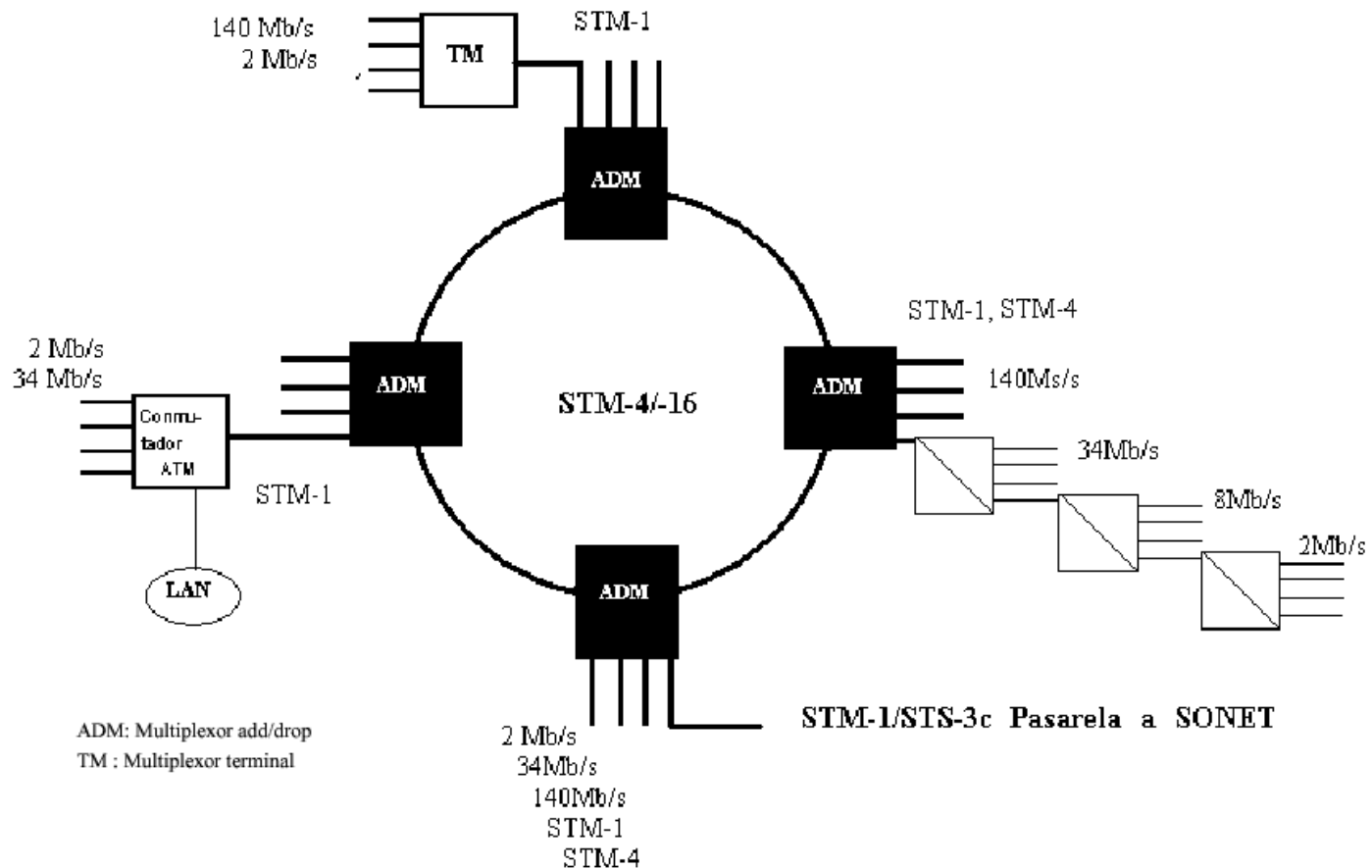


- **La tecnología SDH, ofrece a los proveedores de redes las siguientes ventajas:**
  - Altas velocidades de transmisión
  - Función simplificada de inserción / extracción
  - Alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación
  - Confiabilidad
  - Plataforma a prueba de futuro .

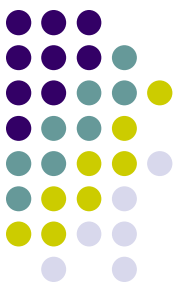
# Componentes de una red sincrónica



- En la *figura* se presenta un diagrama esquemático de una estructura SDH en anillo con varios señales tributarias



# Característica Principales de SDH



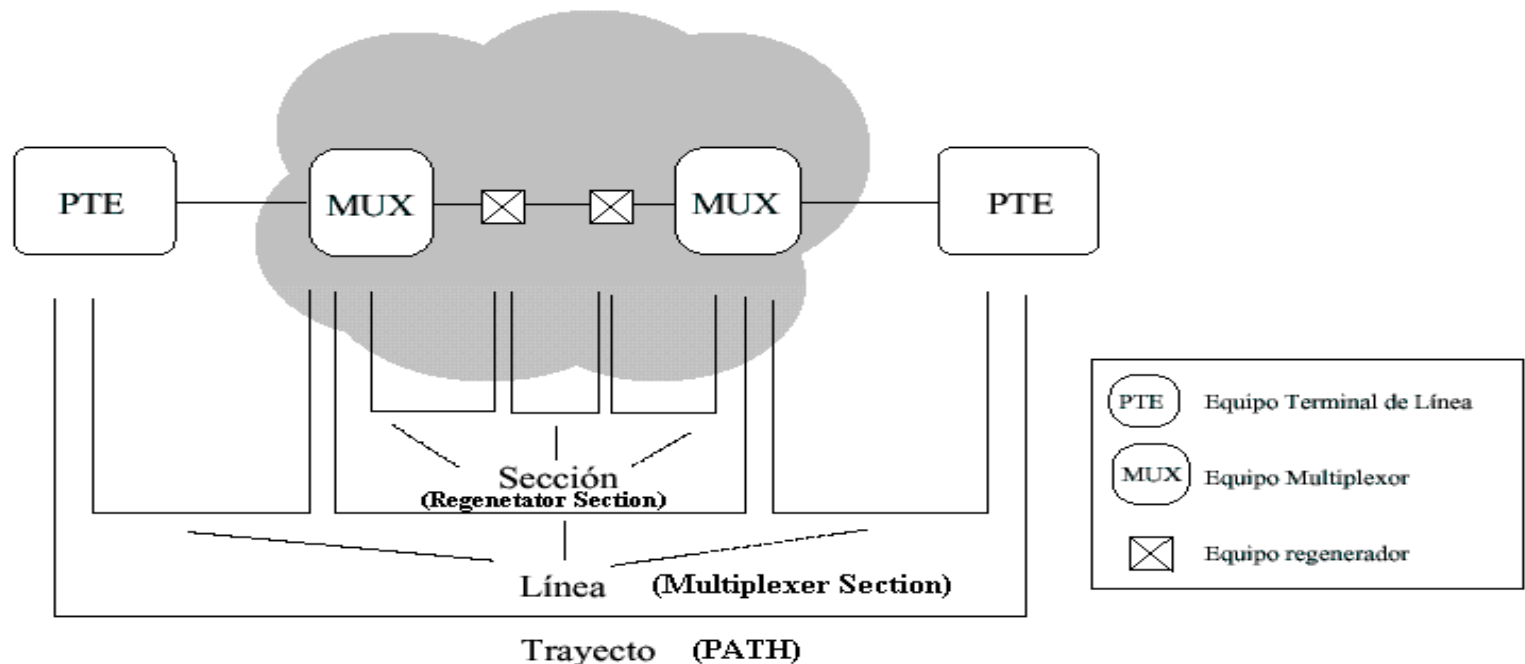
- ➤ Tasa básica 155Mb/s (STM-1)
- ➤ Técnica de multiplexado a través de punteros
- ➤ Estructura modular: A partir de la velocidad básica se obtienen velocidades superiores multiplexando byte por byte varias señales STM-1
- ➤ A través del puntero, se puede acceder a cualquier canal de 2Mb/s.
- ➤ Posee gran cantidad de canales de overhead que son utilizados para supervisión, gestión, y control de la red.



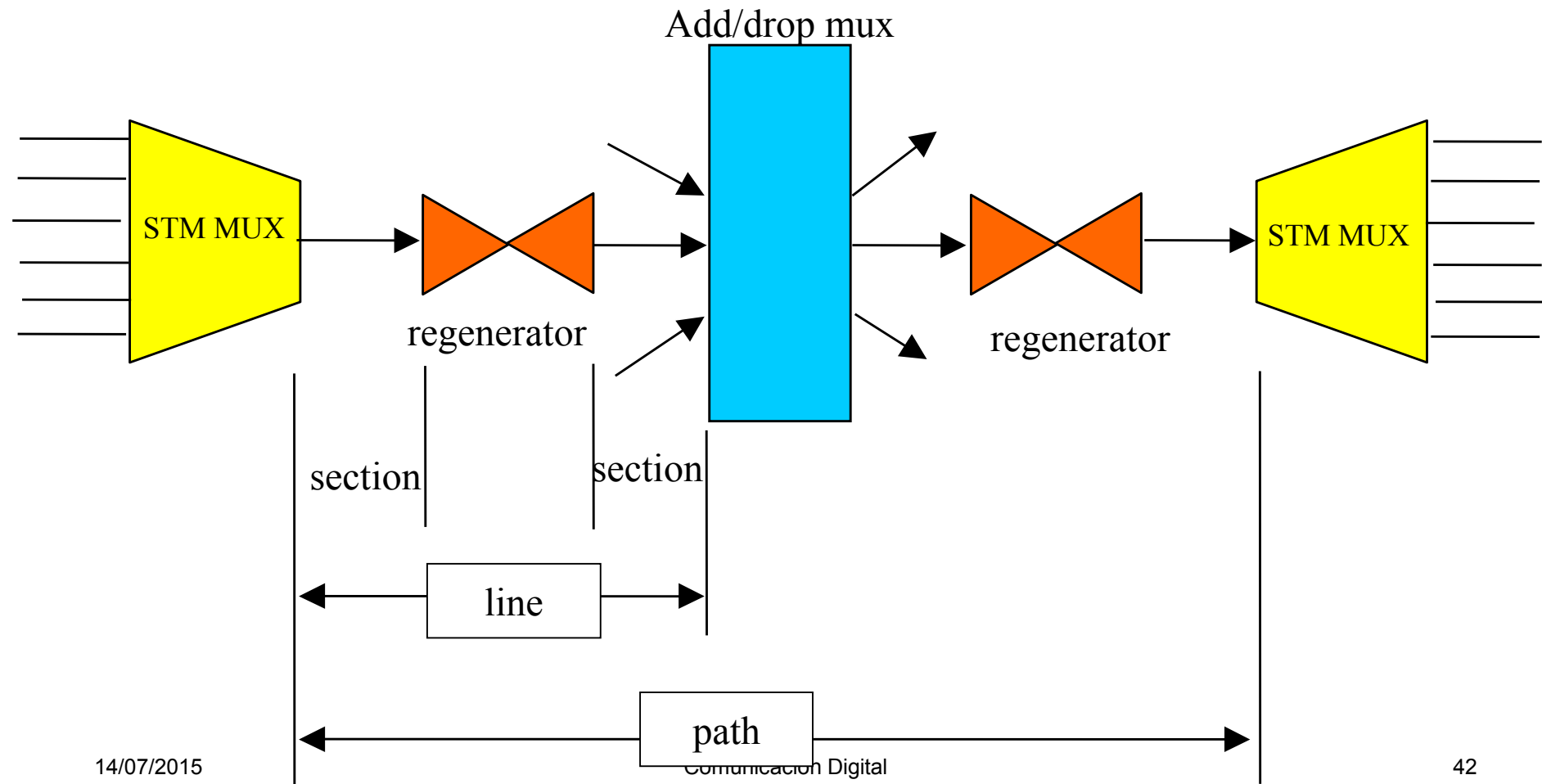
# ESTRUCTURA DE LA TRAMA DE MULTIPLEXION



- SDH transmite la información encapsulada en unidades básicas llamadas tramas.
- Estas tramas contienen información de control de cada uno de los niveles de la red (trayecto, línea y sección) además del espacio reservado para el transporte de la información de usuario.



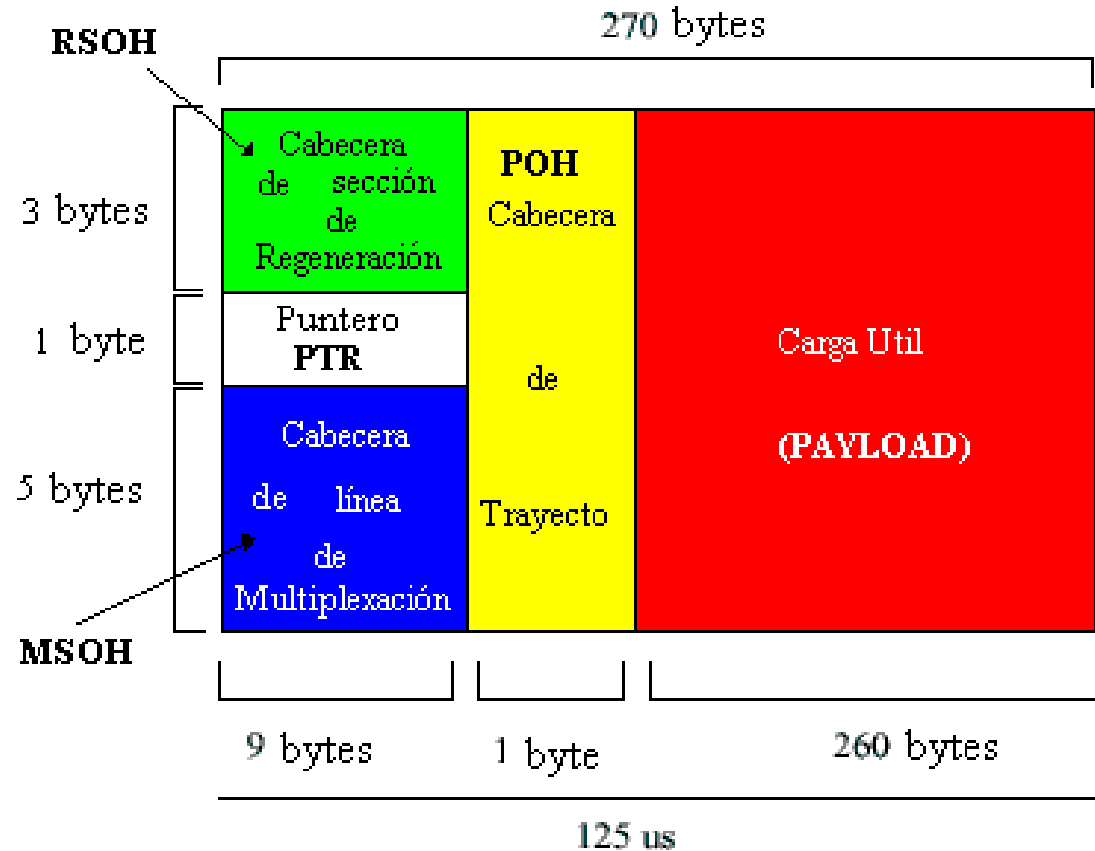
# Elementos SDH



# Trama STM-1 (*Synchronous Transport Module*)



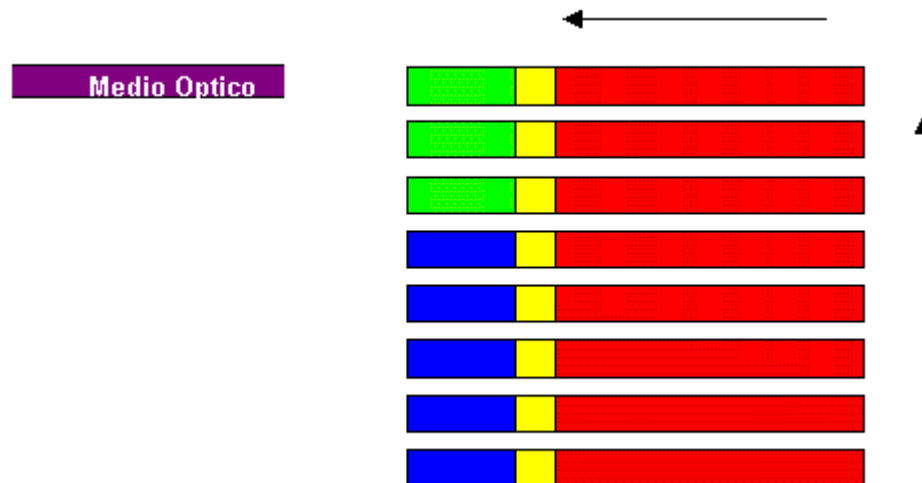
- La jerarquía STM-1 es la menor velocidad prevista para la transmisión a través de un enlace de SDH, es decir se puede definir como la jerarquía básica.
- La STM-1 tiene una estructura de trama que se conforma de 2430 bytes en serie.
- TASA BASICA STM-1 155 Mbps



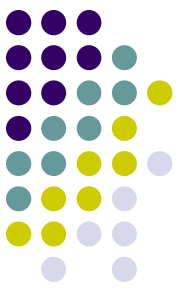


# Transmisión de la Trama

- La estructura bidimensional consta de 9 reglones, con 270 bytes por reglón.
- Esta matriz debe ser recorrida en izquierda a derecha, y en sentido descendente, para así ir siguiendo la secuencia en serie para su transmisión.



# Estructura de la cabecera de sección de Regeneración ROH



- Esta sección está destinada a transferir información entre los elementos regeneradores.
- El contenido de esta cabecera es:
  - Seis octetos (**A1** y **A2**) de *alineación de trama* cuyo valor está ya definido
  - Identificación del nivel de la jerarquía al que pertenece la trama (**J1**)
  - Un octeto de *control de paridad* que permite detectar errores de transmisión entre secciones de regeneración (**B1**)
  - Un canal de 64 Kb/s para *establecer comunicaciones entre personal de mantenimiento*(**E1**). Como la transmisión de la trama se realiza cada 125 microsegundos cada octeto de información se convierte en un canal de 64 Kb/s.

# ROH



- Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

Chequeo de paridad

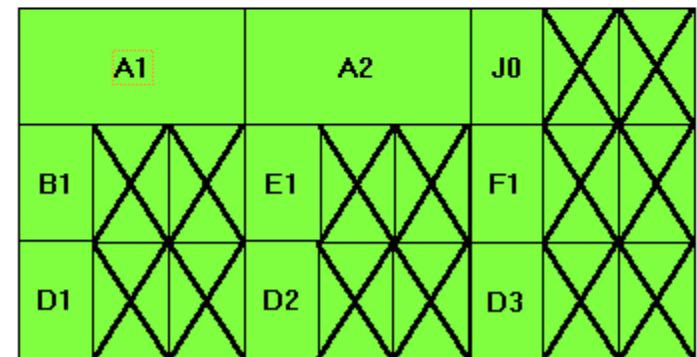
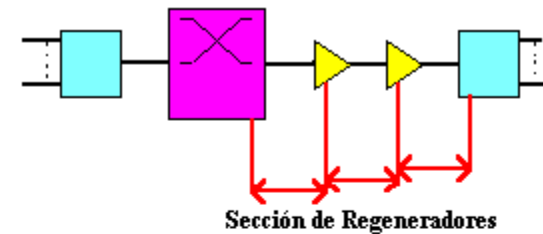
Alineación de la trama

Identificación de la STM-1

Canales destinados a los usuarios (sin fines específicos)

Canales de comunicación de datos

Canales de comunicación vocales



# Estructura de la cabecera de sección de Multiplexación MOH

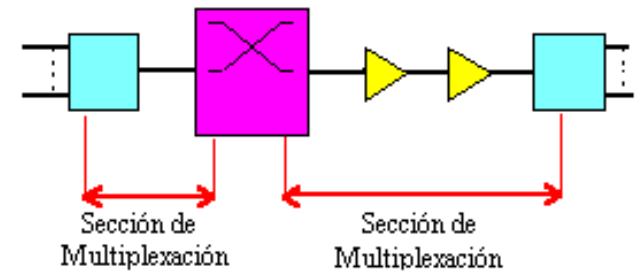


- Esta sección provee las funciones necesarias para monitorear y transmitir datos de la red de gestión entre elementos de red.
- Su contenido es:
  - *Control de paridad* para detectar errores de transmisión entre secciones de multiplexión (**B2**)
  - Canal de información para *conmutación automática* en caso de fallo en la línea (**K1** y **K2**). Esta información se transmite en los sistemas que son capaces de recuperarse automáticamente ante un fallo en la red.
  - Canal de datos de 576 Kb/s entre secciones de multiplexión utilizado para tareas de *gestión de red* (**D4 – D12**)
  - Un canal de 64 Kb/s para establecer comunicaciones entre personal de mantenimiento (**E1**)
  - Un canal que indica el tipo de reloj utilizado el momento de transmisión (**S1**).

# MOH



- Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:
  - Chequeo de paridad
  - Punteros del payload
  - Conmutación automática a la protección
  - Canales de comunicación de datos



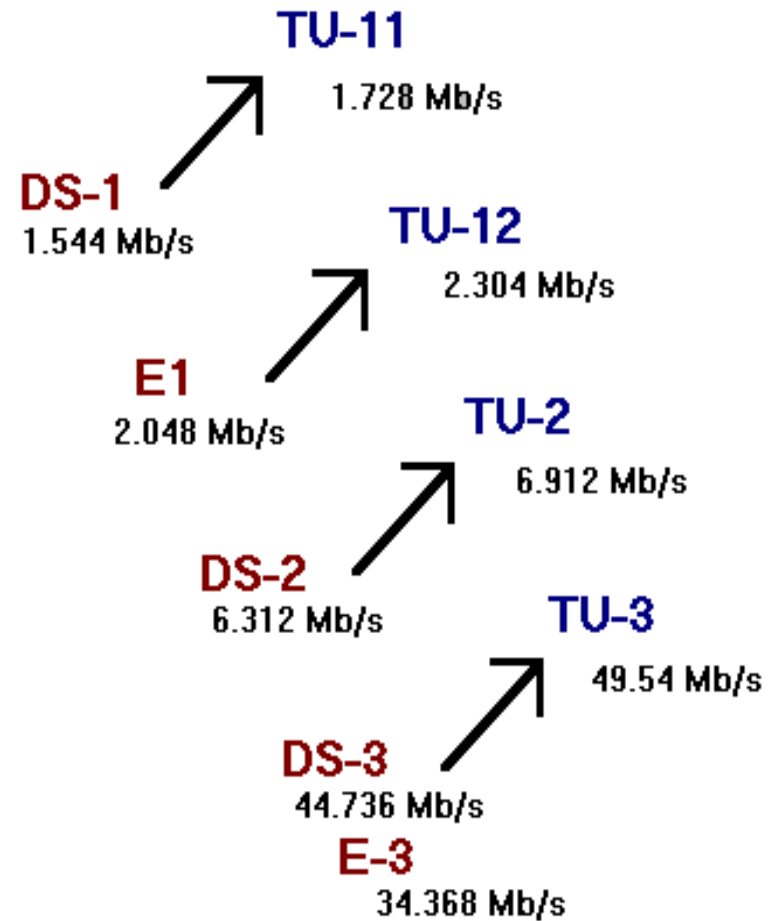
	B2	K1		K2	
D4		D5		D6	
D7		D8		D9	
D10		D11		D12	
S1	Z1	Z2	M1	E2	



# Composición de la trama STM-N



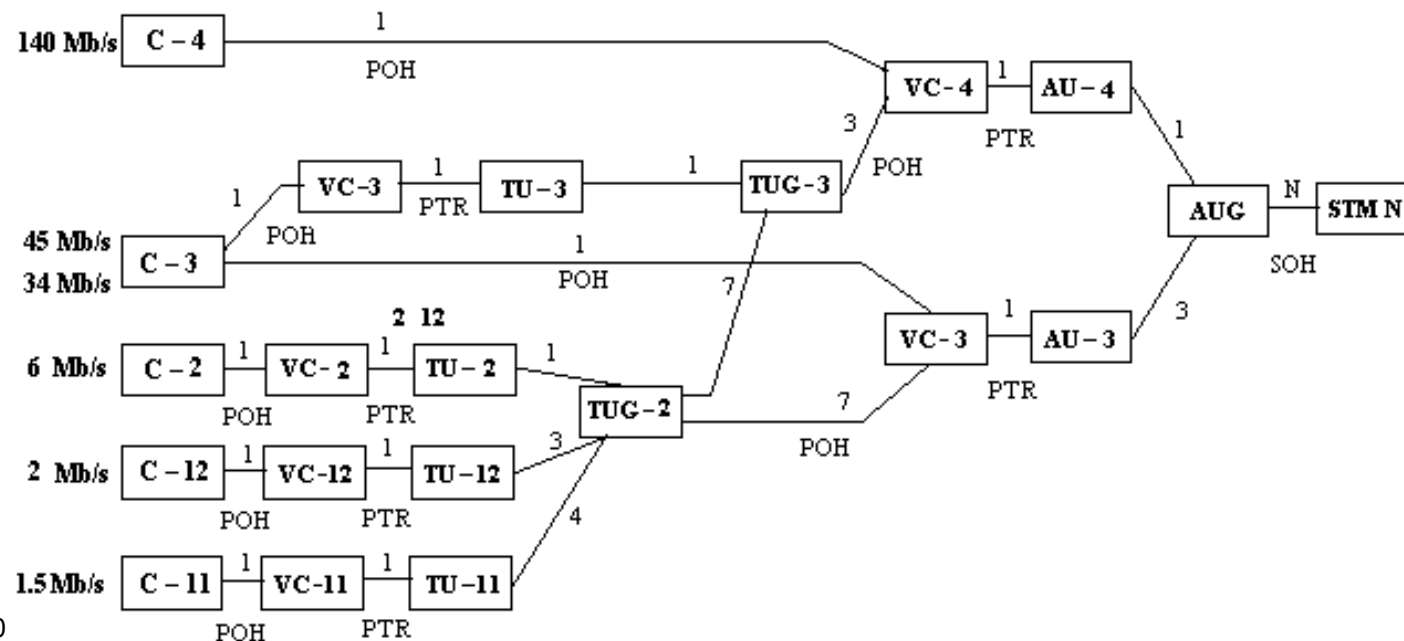
- Para multiplexar las diversas señales de entrada en una trama de cualquiera de los niveles de la jerarquía hay que realizar dos tareas:  
Encapsular cada señal tributaria en el contenedor adecuado según se define en las Recomendaciones del ITU-T.  
Una vez encapsulada cada señal, hay que componer una trama con todas ellas.





# Encapsulamiento SDH

- Cada señal tributaria se encapsula en su contenedor junto a una cabecera de control de trayecto que lo acompaña extremo a extremo.
- Estas estructuras se vuelven a combinar para completar una trama STM-1.





# SONET / SDH

- ¿Qué es SONET / SDH?
  - **S**ynchronous **O**ptical **N**etwork – ANSI (US)
  - **S**ynchronous **D**igital **H**ierarchy –ITU-T Europa
  - Similares y compatibles
  - Estándar usado en fibra óptica
  - Recomendación para equipos FOTS
    - Fibre Optic Transmission Systems
  - Puede llevar jerarquías incompatibles como DS-0, DS1 (Asyn)

# SONET / SDH

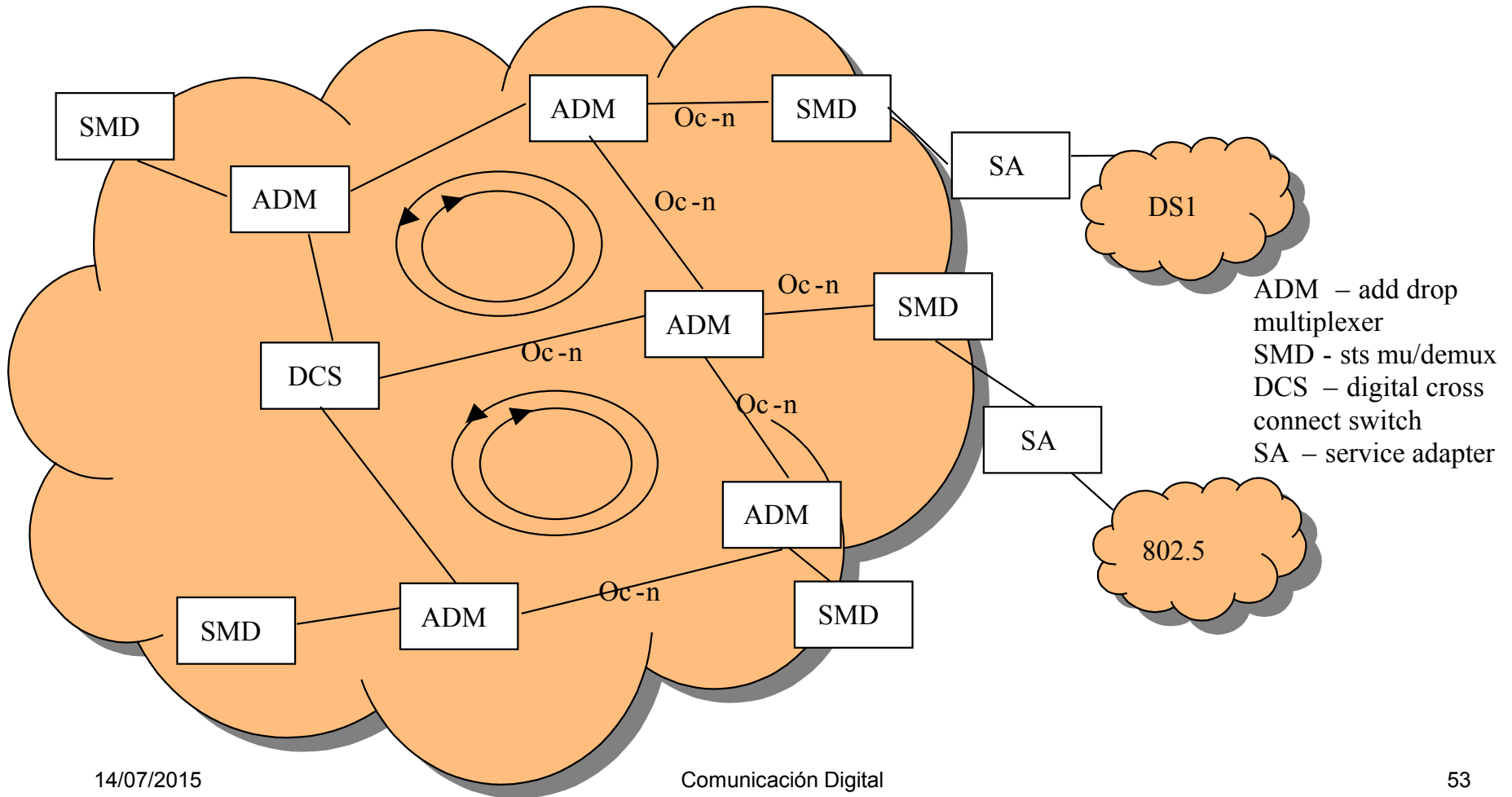


## SONET

## SDH

STS 1	OC-1	51.840 Mbps	
STS-3	OC-3	155.520	STM-1
STS-9	OC-9	466.560	
STS-12	OC-12	622.080	STM-4
STS-18	OC-18	933.120	
STS-24	OC-24	1244.160	
STS-36	OC-36	1866.230	
STS-48	OC-48	2488.320	STM-16
STS-96	OC-96	4976.640	
STS-192	OC-192	9953.280	STM-64

# Topología SONET / SDH



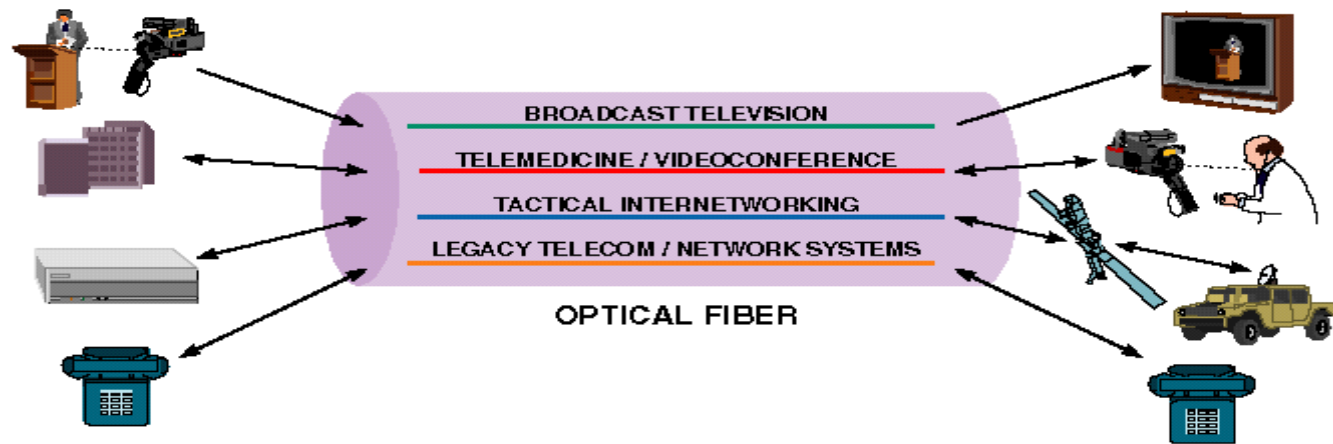


# MULTIPLEX WDM



# WDM & DWM

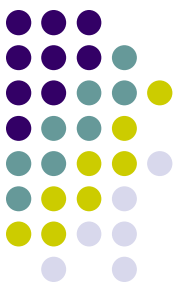
## WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING



- BETTER USE OF EXISTING FIBER BANDWIDTH
- TRANSPARENT TO DATA FORMAT AND RATE
- CHANNELS ARE INDEPENDENT
- COMMERCIALLY MATURE FOR POINT-POINT LINKS



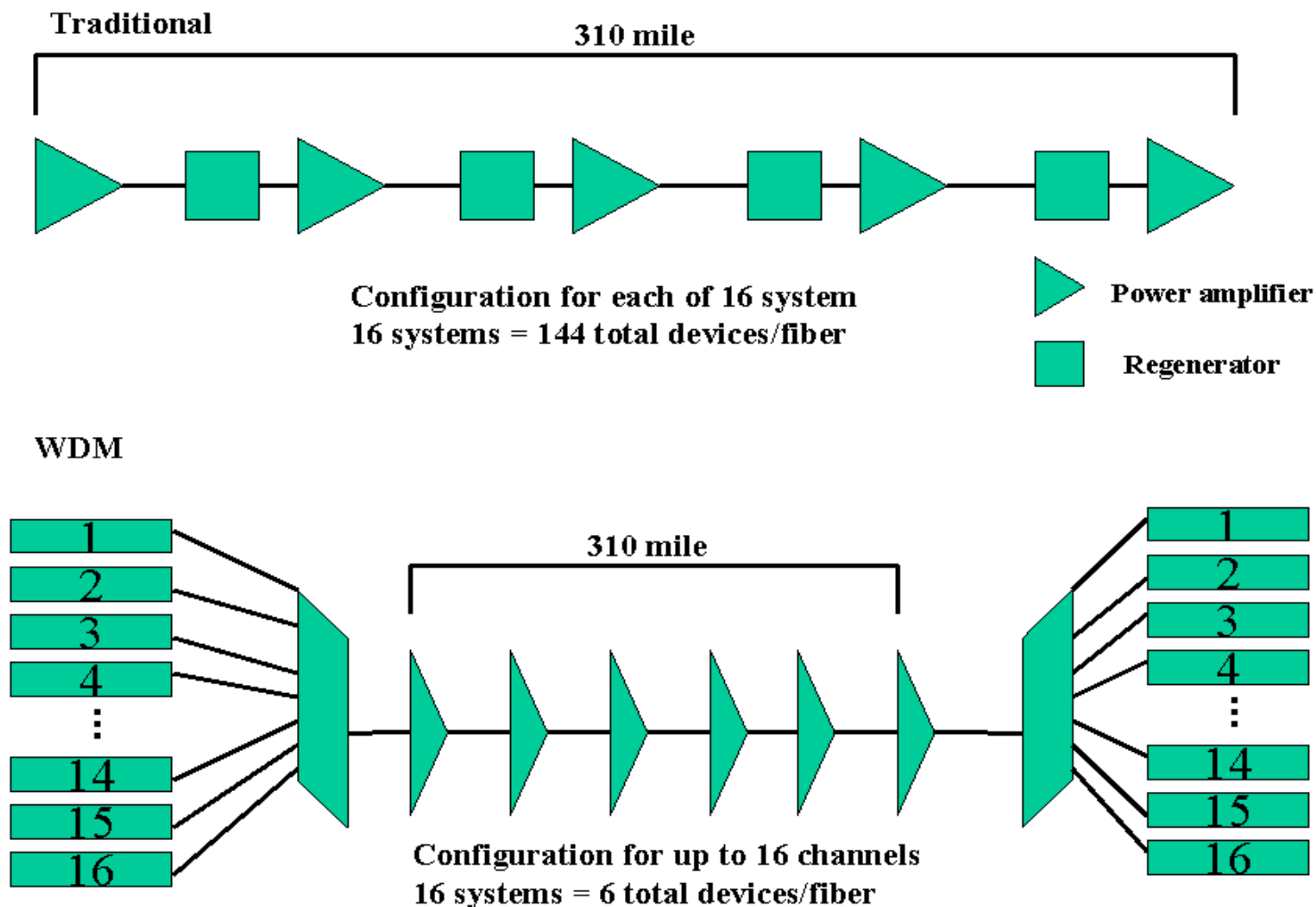
# ¿Qué es WDM? (Wavelength Division Multiplexing)



WDM es una tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda orientada a transmitir información a través de *Fibra Óptica*. Dicho proceso permite que diferentes cadenas de información sean transportadas a diferentes longitudes de onda y enviadas todas a la vez por una única *Fibra Óptica*.

Por ejemplo, si queremos transmitir 16 canales a lo largo de 310 millas utilizando métodos tradicionales, necesitaríamos 16 fibras y un total de 144 elementos de regeneración y amplificación de señal. En cambio, esto mismo implementado mediante tecnología WDM, reduciría los dispositivos necesarios a una sola fibra y seis elementos de amplificación, como se muestra en el diagrama.





**Figure 1. WDM Transportation**

# DWDM



A finales de los 90, los sistemas densos (DWDM) llegaron a ser una realidad cuando gran número de servicios y multitud de longitudes de onda comenzaron a coexistir en la misma fibra, llegando a enviar 32/40/64/80/96 longitudes de onda a 2,5 Gbps y 10Gb/s.

Aun así, pronto veremos los sistemas ultra-densos (UDWDM) con transmisión de 128 y 256 longitudes de onda a 10Gb/s y 40 Gb/s por canal, ya que la infraestructura actual de fibra óptica no será suficiente para cubrir la demanda.

# DWDM



Mediante el uso de tecnología DWDM, cada longitud de onda transmitida por la misma fibra soporta un canal independiente y, consecuentemente, aumenta el ancho de banda disponible para diferentes servicios.

Por ejemplo, con tecnología estándar SONET, 1344 señales T1 se transmiten por un par de fibras. Empleando tecnología WDM y el mismo par de fibras, se llegan a transmitir hasta 53.760 señales T1.

Una vez que la tecnología DWDM sobrepase el marco de aplicación de las conexiones punto a punto y se desdoble en topologías en bus y en anillo, los OADMs y OXCs serán usados masivamente dentro de la red.

# DWDM



Este hecho conducirá a los siguientes retos a los que la tecnología DWDM tendrá que hacer frente:

- Mayor control sobre la tolerancia de los láseres y de los filtros ópticos.
- Supresión de elementos no lineales.
- Presupuestos de potencia óptica mucho más complejos.
- Menor acumulación de ruido óptico.
- Menor coste por bit.
- Menor número de capas en el escalonamiento.
- Mejor protección y restauración de la capa óptica.
- Flexibilidad y rapidez de reconfiguración óptica.
- Optimización del uso de ancho de banda disponible.

# DWDM



Para poder plantear soluciones y repuestas a estos futuros requerimientos, deberemos tener disponibles opciones como:

- Nuevos tipos de fibra óptica.
- OC-192
- Conmutación, Intercambio y conversión de longitud de onda.
- Compensación de dispersión a muy bajo coste.
- Regeneración totalmente óptica de señales.



# DWDM

Todos estos indicadores nos inducen a pensar que el mercado para fabricantes y usuarios de componentes y equipos DWDM será creciente, aún cuando la complejidad de la propia tecnología crezca del mismo modo y a la misma velocidad. Por ello, y calculando un incremento en la demanda de ancho de banda del 100% cada 6 meses, podremos esperar que las redes DWDM del 2010 requieran:

- 864 fibras por cable.
- 128 longitudes de onda por fibra.
- 1.11 Pb/s (17 000.000.000 de líneas de voz) por línea de transporte.
- Reparto y localización de ancho de banda óptico en tiempo real.

# DWDM



Las redes DWDM del futuro estarán sujetas a procesos de optimización tremendamente exigentes, lo cual conducirá a un replanteamiento constante de términos como coste, espacio, potencia, consumo, repuestos, manejo de la red, formación, etc., que llegarán a extremos críticos.

Por eso, las redes del futuro deberán incorporar:

- Total funcionalidad con los canales de servicio (OSC).
- Control y procesamiento total de cabeceras SONET y conversión de señales sin multiplexación.
- Técnicas de modulación y formatos de datos mejorados.

# DWDM



- Estructuración fuera de banda.
- Corrección de errores FEC en la propia banda.
- Conmutación de protección automática.
- Interfaces tributarios mejorados para voz y datos.
- Transmisores ITU desde 1545nm hasta 1560nm, sintonizables, 100 GHz.
- Menor tamaño de equipos.
- Módulos OADM con gran número de canales.
- Conmutadores ópticos ultrarrápidos, gran densidad de canales. Nuevas tecnologías de supervisión y control de red.



# Tecnología WDM



## Emisores

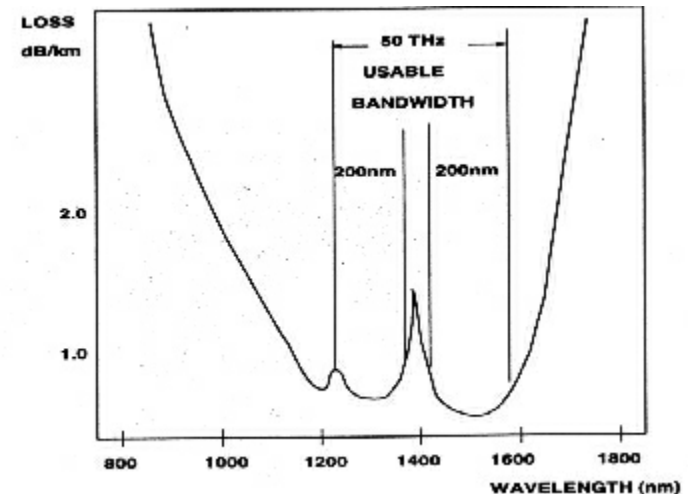
En WDM, las señales eléctricas son convertidas en señales ópticas (luz) mediante diodos láser cuya longitud de onda se encuentra dentro de un rango permitido para poder realizar la multiplexación.

Existen dos tipos de WDM que han sido desarrollados que se diferencian por las distintas longitudes de onda que utilizan. El WDM convencional está estandarizado internacionalmente por la ITU-T G 692 para utilizar longitudes de onda que van desde 1310 nm hasta 1550 nm donde la distancia entre los distintos canales que ocupan la misma fibra es de entre 0'8 nm (100 GHz) y 1'6 nm (200 GHz).



# Emisores

Este rango de longitudes de onda se escoge debido a que dentro de este rango las pérdidas en la *Fibra Óptica* son mínimas, exceptuando el pico de pérdidas existente en 1400 nm debido a las cualidades físicas del material.





## Emisores

Como podemos observar en la gráfica, en un rango de 200 nm, entre 1300 y 1500 nm, la atenuación media es de entre 0,2 dB/Km y 0,5 dB/Km. Por otro lado existe el WDM Denso o DWDM que utiliza para el mismo rango de longitudes de onda un espaciado entre canales de menos de 100GHz. Ya se han probado sistemas con separación entre canales de 0.4 nm (50 GHz) y 0.2 nm (25 GHz) con resultados satisfactorios.

Existen sistemas de 4, 8, 16, 32 e incluso 80 canales ópticos, lo que permite alcanzar capacidades de 10, 20, 40, 80 y 200 Gbps  
EJEMPLO: 16 canales de 2.5 Gbps ----- 500.000 conversaciones telefónicas simultáneas en una sola fibra.



## Características de los emisores

Los láser utilizados en WDM son prácticamente iguales que los utilizados para comunicaciones de larga distancia, excepto por la necesidad de que algunos requerimientos sean más críticos y la aparición de nuevos requerimientos adicionales:

***Ancho Espectral:*** El ancho espectral necesario en WDM depende del número de canales usados en cada uno de los sistemas a implementar y de la tolerancia de sus componentes, como por ejemplo los demultiplexores. Generalmente, cuanto más estrecho es el ancho espectral, mejor es el láser, pero esto implica mayores costes y menor beneficio.

# Características de los emisores



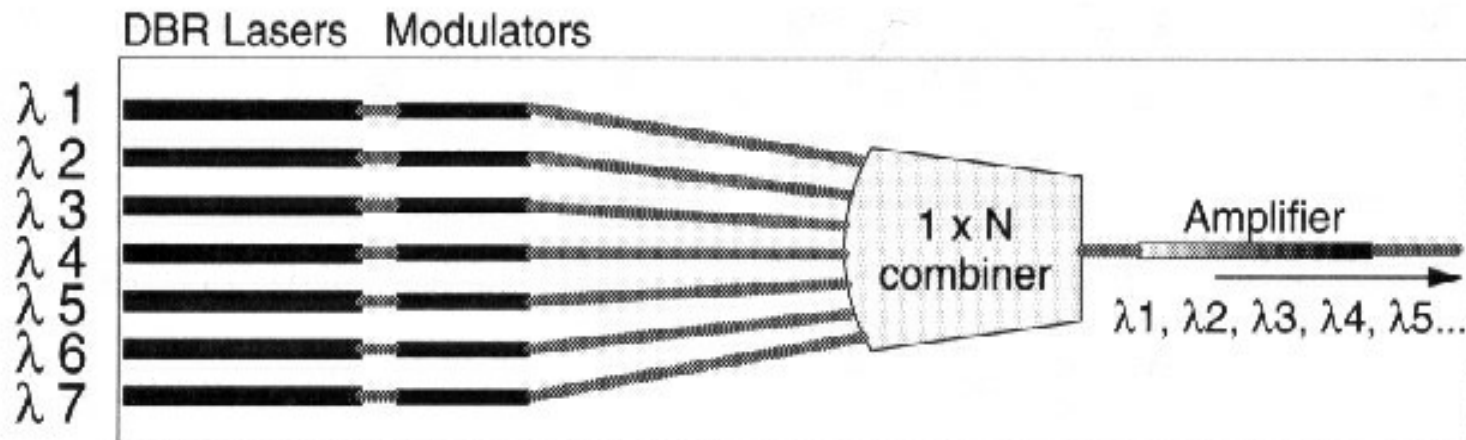
***Estabilidad de Longitud de Onda:*** Generalmente en comunicaciones ópticas, para minimizar los efectos de la dispersión y el ruido de partición de modo, es necesario una estabilidad muy alta. Sin embargo, los sistemas WDM necesitan minimizar constantemente las variaciones de la longitud de onda.

***Lázers Sintonizables en Longitud de Onda:*** La capacidad de sintonización es importante en las redes ópticas. El hecho de que la sintonización en el transmisor o el receptor sea rápida es fundamental para el rendimiento del sistema en topologías LAN y WAN.

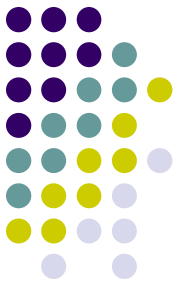


# Características de los emisores

***Lázers Multi-Longitud de Onda:*** Están hechos mediante una combinación de lázers de diferentes longitudes de onda, juntos en un mismo sustrato, como se ve en la siguiente figura.



# Multiplexores



En WDM son necesarios dispositivos eficaces para introducir por una única fibra distintas longitudes de onda.. Si se utilizan acoplamientos pasivos en la multiplexación las señales de luz perderían gran parte de su fuerza. Por otro lado si se utilizan Littrow Gratings o AWGs (Array Waveguide Gratings) o elementos similares la pérdida se reduce considerablemente. Un típico Littrow grating comercial combinando 32 canales tiene una pérdida de unos 6 dB por canal (3/4 de cada señal es perdida). Existen AWGs con pérdidas totales de 5 dB para 64 canales.



# Multiplexores

El escoger unos aparatos u otros depende del sistema que queramos construir. Si un sistema va a utilizar tan solo 4 canales se puede utilizar un acoplamiento.

Se encuentra disponible para todas las combinaciones de longitudes de onda: 1310/1550/1650 nm.





# Repetidores /Amplificadores



La tecnología WDM permite transmisión de información en un rango amplio de distancias entre emisor y receptor. En distancias cortas la atenuación de la fibra (mínima para una longitud de onda de 1550 nm) y la dispersión (mínima para 1300 nm) no representan un gran problema.

Sin embargo para largas distancias estos fenómenos son un factor a tener en cuenta por lo que se requiere el uso de amplificadores/repetidores. Para hacernos una idea, en los cables trasatlánticos se colocan repetidores cada 75 Km.

# Repetidores /Amplificadores



Los repetidores convencionales funcionan transformando la señal óptica en eléctrica, amplificando ésta última, y transformándola de nuevo a una señal óptica mediante un diodo Láser para de nuevo inyectarla en la *Fibra Óptica* con mayor potencia que antes. Este proceso es complejo e introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos que son necesarios para ello. Este problema se podría solucionar si todo el camino fuese óptico (*all-optical*).

Esta solución fue llevada a cabo por la Universidad de Southampton mediante repetidores/amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFAs).

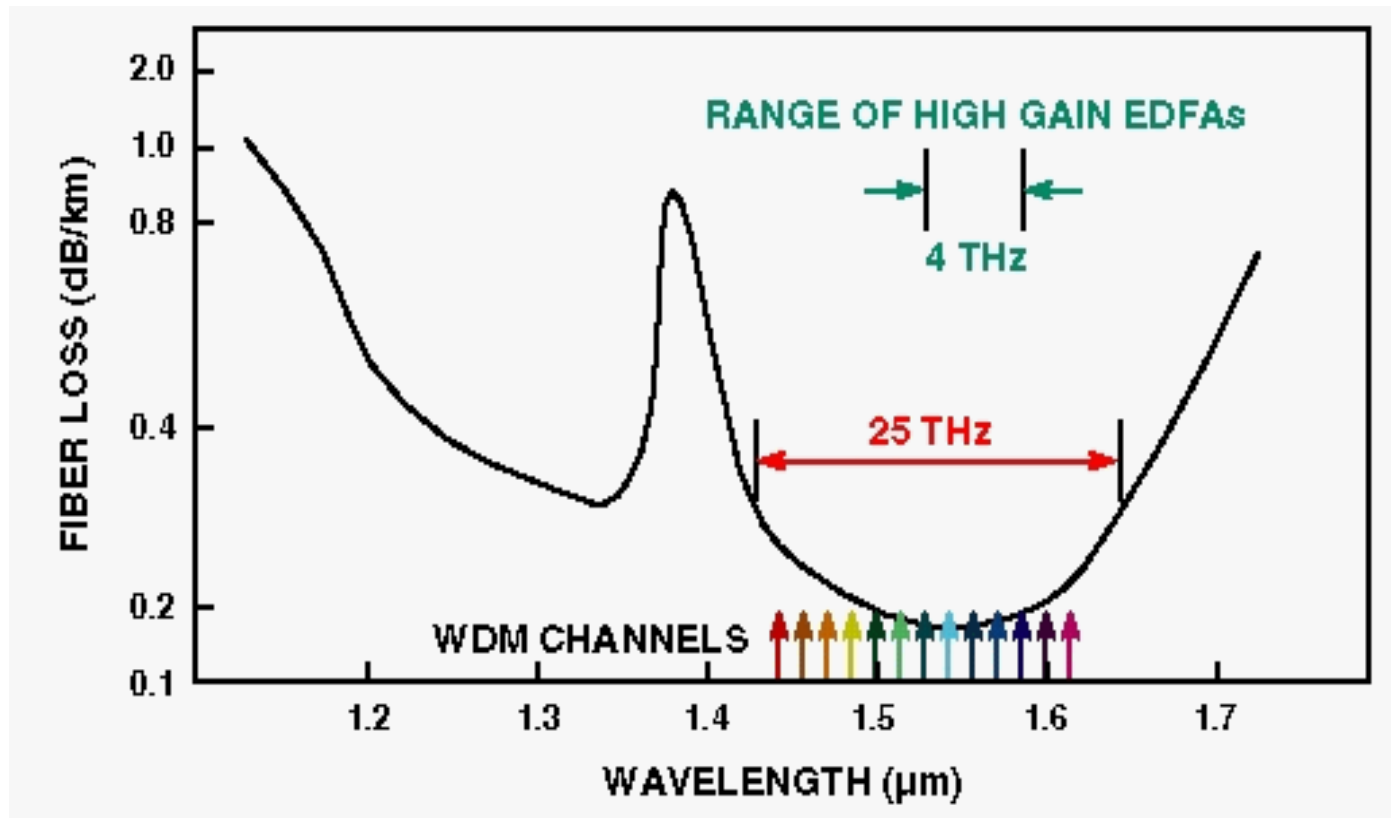
# Repetidores /Amplificadores



Estos repetidores evitaba el tener que convertir la señal óptica a eléctrica y viceversa, y evitando así los retardos.

El funcionamiento de estos repetidores ópticos se basaba en la posibilidad de amplificar una señal óptica de longitud de onda 1550 nm haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud, dopada con iones de erbio, e inyectando en ella una luz Láser de 650  $\mu$  m (fenómeno que se conoce como bombeo o pumping), consiguiéndose de esta manera hasta 125 dB de ganancia. En la actualidad, los repetidores/amplificadores comerciales utilizan un Láser con una longitud de onda de 980 o 1480  $\mu$  m en lugar de los 650  $\mu$  m originales.

# Repetidores /Amplificadores



# Repetidores /Amplificadores



Los amplificadores dopados de erbio tienen un rango de funcionamiento limitado en cuando a la longitud de onda de las señales que procesan:

A la hora de poner muchos amplificadores en cascada hay que tener en cuenta la aparición de varios efectos que pueden distorsionar la señal. Estos efectos son:

- 1.- Ganancia no lineal dinámica de los amplificadores.
- 2.- Generación de fluctuación de potencia.
- 3.- Ruido introducido por los amplificadores.
- 4.- Dependencia de efectos de polarización.

# Repetidores /Amplificadores



El número de amplificadores en un tramo se reduce en la misma proporción que aumenta el número de canales por una sola fibra, lo que aumenta la fiabilidad del sistema y su complejidad.

Debido a la alta potencia de los amplificadores DWDM y su bajo nivel de ruido, se pueden transmitir hasta 32 canales independientes de 2,5 Gbps cada uno, a lo largo de distancias de hasta 600 Km sin necesidad de utilizar repetidores.

# Repetidores /Amplificadores



***Amplificadores de Potencia:*** Son colocados justo después de la etapa de multiplexado, a la salida del sistema transmisor. La limitación de estos amplificadores es por lo general la potencia total de salida.

***Amplificadores de Línea:*** Reciben un nivel relativo de señal bajo y deben amplificarlo por el mayor número de dB posible. La limitaciones de estos amplificadores son la ganancia, el ruido que introducen y potencia total de salida.

***PreAmplificadores:*** Estos amplificadores han de ser bastante sensibles, deben tener un bajo nivel de ruido y una ganancia aceptablemente alta debido a que generalmente no necesitan una señal de alta potencia a la salida. Una salida de  $-20$  dBm por canal es normalmente una potencia de salida suficiente.

# Interconexión



Hasta ahora hemos conseguido establecer las bases para establecer una conexión WDM punto a punto. Sin embargo, aún no hemos asentado los principios tecnológicos para crear redes más generales basadas en WDM.

Necesitamos pues algún tipo de elemento de interconexión que nos permita hacer estas redes. Estos elementos de interconexión se depositan en tres categorías:

***Estrella Pasiva, Router Pasivo, Switch de División de Espacio, Switch Activo y Multiplexores Add-Drop.***



# Interconexión

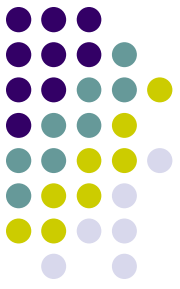


## ***Estrella Pasiva:***

Este es un elemento utilizado para el *broadcast*, de tal manera que una señal es introducida en una determinada longitud de onda desde una fibra de entrada y su potencia será dividida entre todos los puertos de salida de la Estrella.

Todas las señales de salida tendrán igual forma y longitud de onda que la señal de entrada, diferenciándose, eso si, en la potencia, que será mucho menor. Las colisiones tan sólo podrán ocurrir cuando dos o más señales de igual longitud de onda sean introducidas como entrada.

# Interconexión



***Router Pasivo:*** Un Router Pasivo puede encaminar de forma independiente varias señales de entrada a distinta longitud de onda (por su puesto, si no son de distinta longitud de onda ocurrirán colisiones) hacia varios puertos de salida.

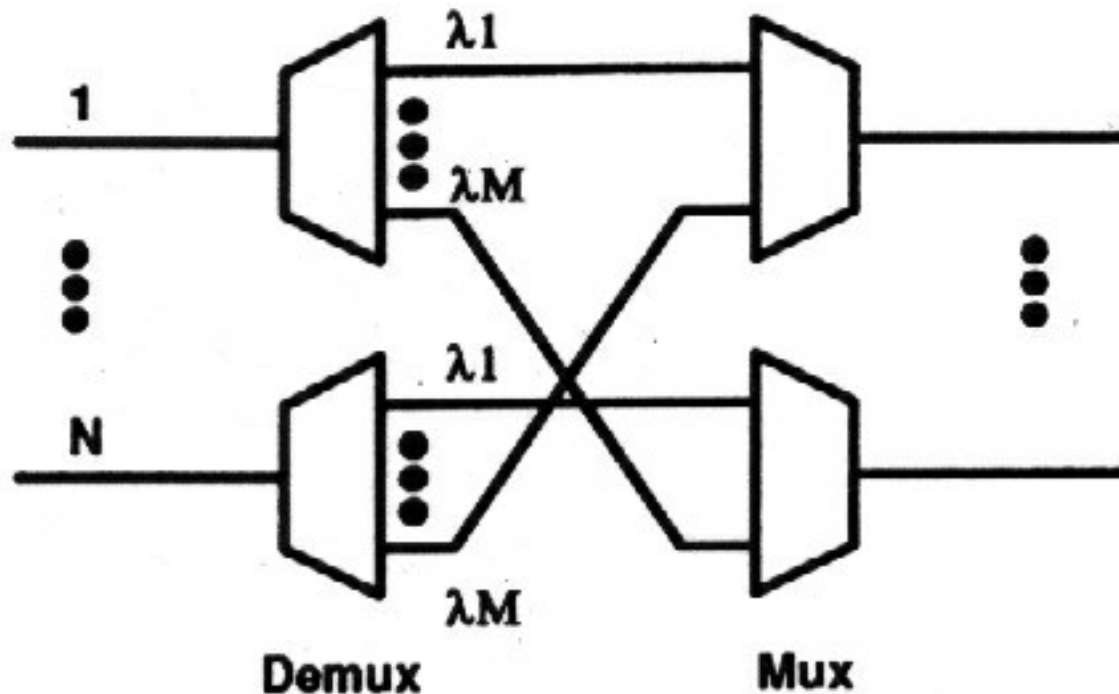
Para hacer esto, primero necesita demultiplexar las distintas longitudes de onda. Una vez echo esto, multiplexa las señales deseadas es cada uno de los puertos de salida.

Por ejemplo, podemos hacer que tres señales de longitud de onda  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  y  $\lambda_3$  respectivamente incidentes en el puerto 1 de entrada son enviadas en las mismas longitudes de onda a los puertos de salida 1, 2 y 3 respectivamente.

# Interconexión



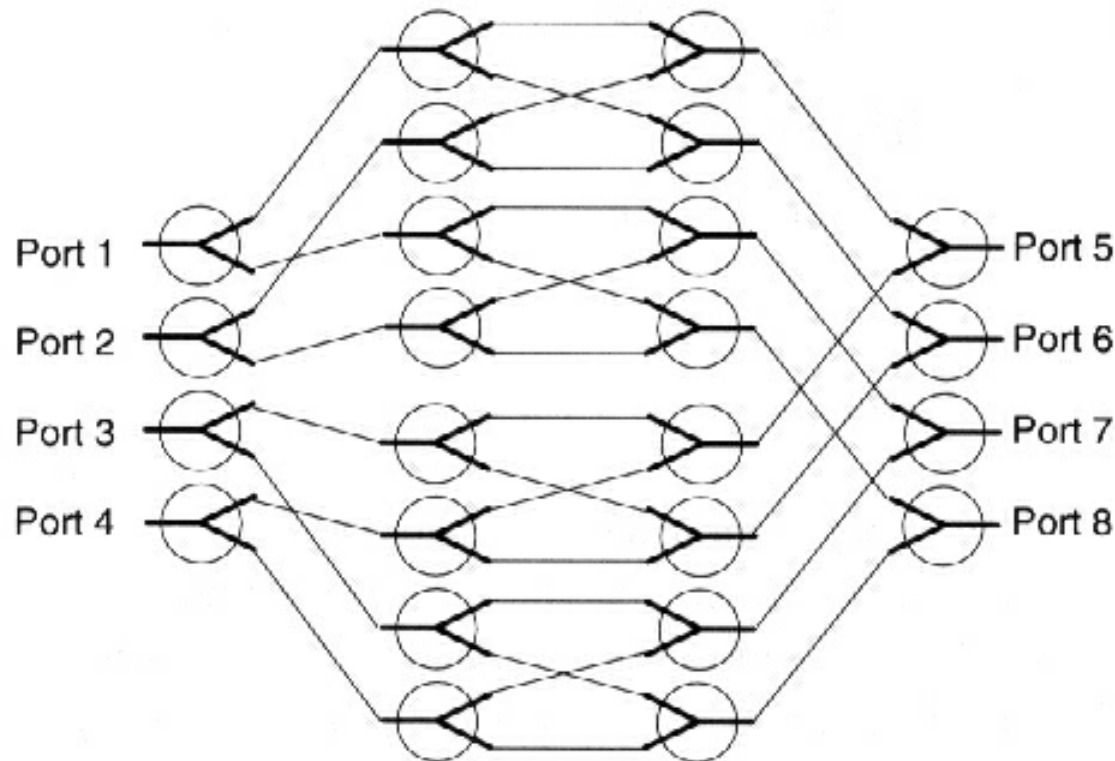
La manera más sencilla de construir estos *routers* es mediante multiplexores y demultiplexores colocados de forma consecutiva y estableciendo las conexiones a nuestra conveniencia, según se muestra en la siguiente figura:



# Interconexión



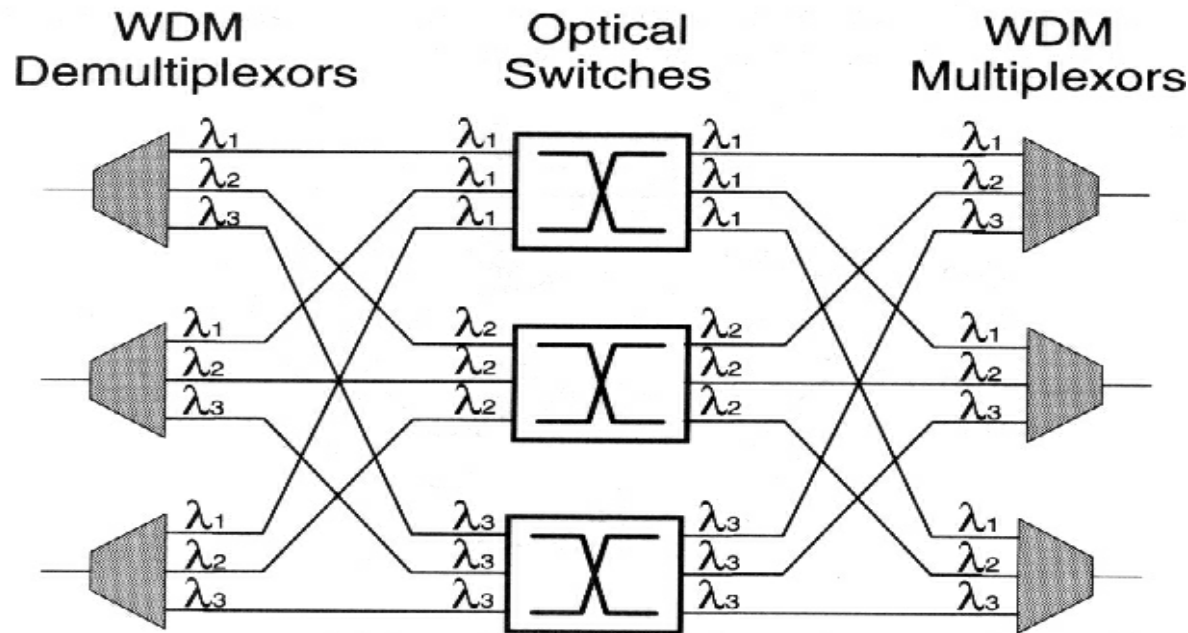
***Switch de División de Espacio:*** Este dispositivo está diseñado para permitir que cualquier puerto de entrada pueda ser conectado a cualquier puerto de salida. Están fabricados con sencillos Interruptores Opticos Digitales como se muestra en la siguiente figura:



# Interconexión



**Switch Activo:** Añadiendo una serie de *Switches de División de Espacio* al *router pasivo*, conseguimos que las interconexiones entre los puertos de entrada y salida puedan ser reconfigurados electrónicamente. Esta idea se muestra en la siguiente figura.





# Interconexión

***Multiplexores Add-Drop:*** Estos multiplexores permiten añadir o retirar un único canal de una multiplexación de canales WDM sin interferir sobre dichos canales.

Mediante este esquema permitimos que estaciones intermedias sean capaces de recoger información de una red, sin que el resto de los canales se vean afectados (sería muy sencillo implementar distintas redes como Ethernet o incluso Token Ring).

Existen distintos métodos para construir los *multiplexores Add-Drop*, entre ellos se pueden destacar: *Array de Gratings de Longitudes de Onda*, *Circuladores con FDBs (Fiber Bragg Gratings)* y *Cascadas de Filtros Interferométricos de Mach-Zehnder*.

# Interconexión



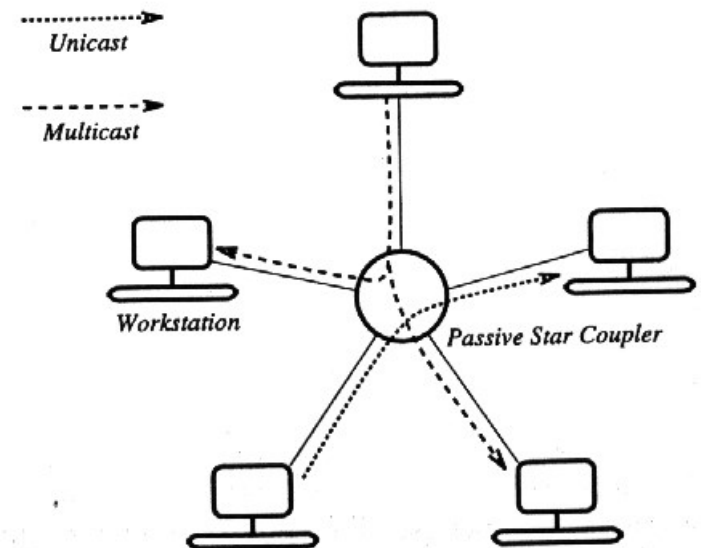
Los multiplexores WDM *Add-Drop* y los conectores en cruz WDM establecen las bases de las redes de *multiplexación en longitud de onda*. Con ellos, las redes ópticas pueden ser reconfiguradas para optimizar el tráfico, congestión, crecimiento de las redes, etc.

A medida que dichas redes van creciendo, las longitudes de onda accesibles son limitadas. Esto lleva a introducir elementos ópticos de interconexión con conversión de longitud de onda.

# Redes WDM

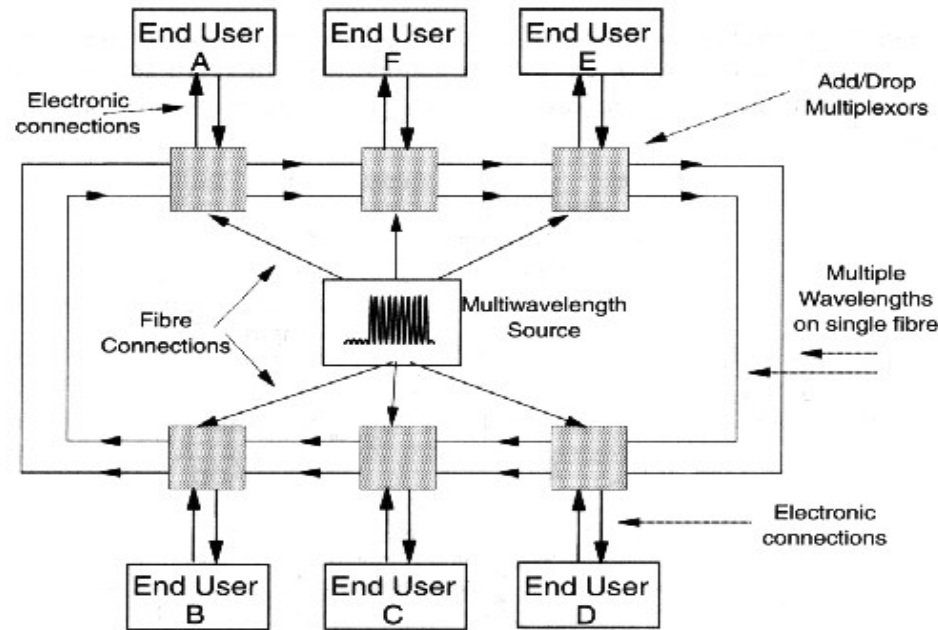


Las primeras redes ópticas que se hicieron eran por lo general redes basadas en el *broadcast*, utilizando fundamentalmente las *estrellas pasivas*. Los usuarios de estas redes transmitían sus señales al acoplador en *estrella* y éste la distribuía de forma pasiva entre todos los demás nodos de la red. En la figura que se muestra a continuación podemos observar esta idea de forma simplificada:





# Redes WDM



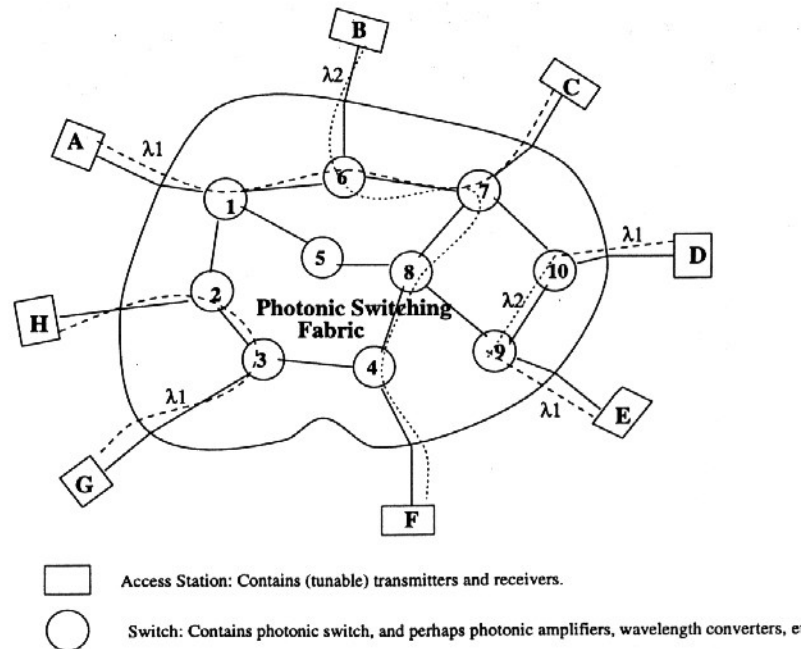
Todos los nodos de la red están conectados por dos enlaces bidireccionales, lo que permite una operación continua en caso de que uno de los anillos se rompa. Cada elemento ADM atenúa la señal WDM de 2 a 6 dB.

El control de este tipo de multiplexado puede ser dinámico para que así los usuarios puedan decidir que señales introducir y que señales sacar de la red en cada momento.

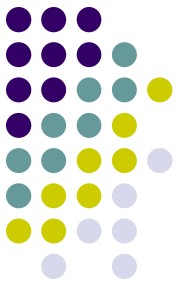
# Redes WDM



Otra configuración de red consta de un número concreto de Switches activos conectados por enlaces de fibra. Cada terminal está conectado a un Switch activo mediante otro enlace de fibra, como se muestra en la siguiente figura.



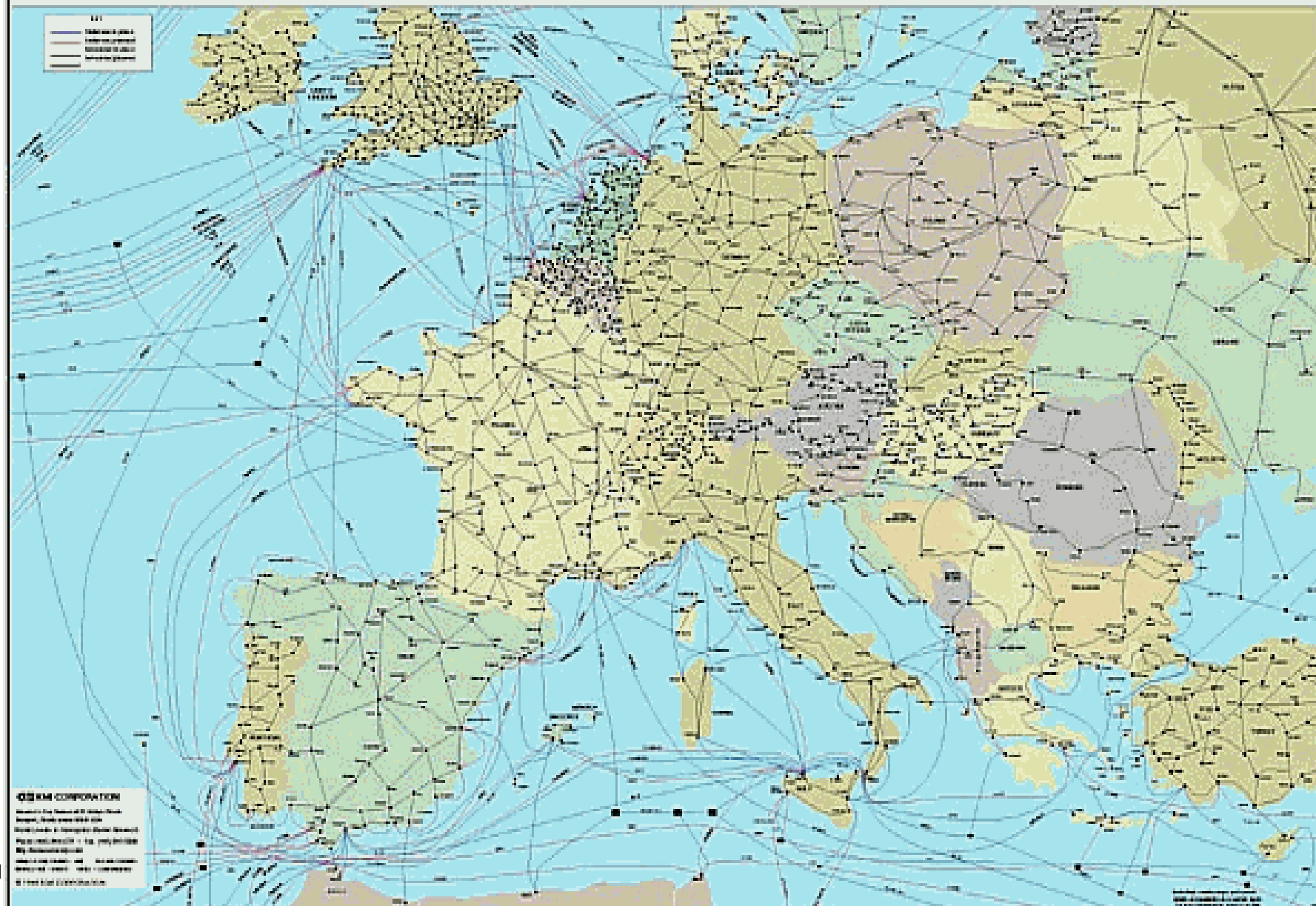
# Redes WDM



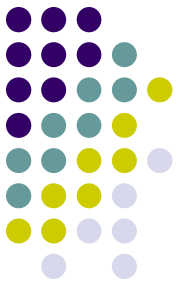
## Larga distancia con WDM

Al tiempo que las redes de larga distancia fueron siendo sustituidas por *Fibra Óptica*, se pensó que la capacidad teórica de la fibra sería suficiente para cubrir el ancho de banda necesario para siempre. Se ha demostrado que esto no es así con las tecnologías existentes. Como resultado, los proveedores de comunicaciones a larga distancia basadas en *Fibra Óptica* fueron los primeros en invertir en equipamientos con tecnología WDM, para maximizar la capacidad de sus redes.

## CENTRAL EUROPEAN TERRESTRIAL AND UNDERSEA FIBEROPTIC ROUTES PLANNED OR IN PLACE



# Redes WDM



## **Corta distancia con WDM**

A pesar que el mercado de WDM últimamente está orientado a las redes públicas de comunicaciones a larga distancia, la fibra también se puede aplicar a comunicaciones locales. Inicialmente se usó para conectar entre sí oficinas locales, pero ahora está siendo impulsado hacia el anillo local. Ciertos segmentos de estas redes se prestan a ser desarrolladas con WDM. Las compañías de teléfono locales están siendo presionadas por la competitividad para instalar más fibra debido a la aparición de proveedores alternativos.

# Redes WDM

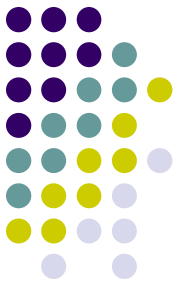


## **Televisión por cable y broadcasting con WDM**

Los operadores de televisión por cable han pasado a utilizar *Fibra Óptica* desde mediados de los años 80, reemplazando así a las líneas de cable coaxial. Se eliminan así las largas cadenas de amplificadores necesarias para mantener la calidad de las señales de vídeo. Sin embargo, la tecnología WDM no es utilizable hoy en día para la transmisión de vídeo por *Fibra Óptica*.

De hecho, actualmente Phillips Broadband Networks y Artel Video Systems Inc. se han aliado para el desarrollo de sistemas de broadcast con tecnología WDM.

# Redes WDM

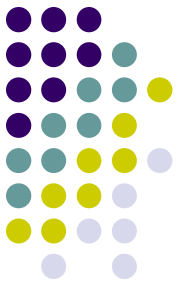


## LAN's con WDM

La idea de las aplicar comunicaciones ópticas a las redes LAN parece no haber cuajado lo suficiente en los últimos tiempos.

Sin embargo, se han realizado experimentos para conseguir aplicar efectivamente la *Fibra Óptica* en redes LAN, utilizando técnicas de acceso al medio similares a las utilizadas en redes *broadcast* como las redes de difusión de televisión por cable. De todas formas estos esquemas prácticamente no han salido de los laboratorios.

# Redes WDM



## **WAN's con WDM**

No existe ninguna duda de que las grandes corporaciones están experimentando una necesidad de incrementar los anchos de banda de sus WAN's.

La mayoría de las corporaciones tienen la posibilidad de usar otros servicios de red de alta velocidad, que aunque de ancho de banda menor, sería suficiente para sus necesidades actuales, haciendo que la necesidad de una instalación de fibra hiciese mínima la relación necesidad/calidad/precio. De esta manera, el uso de WDM en WAN's de corporaciones es principalmente restringido, hoy en día, a las compañías que ofrecen servicios de comunicación.



# Ventajas e inconvenientes de WDM



Hoy en día, a la hora de crear una nuevo tendido de cable puede resultar más cara la infraestructura que el propio cable. Por ello muchas veces es más rentable el aumentar la capacidad de las líneas ya existentes que el añadir más líneas y nuevas redes al conjunto original. Actualmente, el método tradicional para incrementar la velocidad de transferencia es la multiplexación TDM, aunque presenta el problema de los saltos en la capacidad del sistema ya que pasar de un nivel a otro requiere hacerlo de golpe, con lo que puede resultar excesivo.



# Ventajas e inconvenientes de WDM

Las ventajas de WDM no sólo se encuentran en el incremento de la capacidad. Debido a que como los componentes ópticos son simples pueden ser menos costosos y más fiables que los sistemas electrónicos equivalentes.

Además, WDM tiene otra ventaja añadida sobre la multiplexación sobre la TDM convencional (que ha dominado las redes públicas desde los años 70); esta ventaja es que tiene una capacidad inherente para la utilización de ADM (Add Drop Multiplexing).

# Ventajas e inconvenientes de WDM



Como ya se menciona en puntos anteriores, otra ventaja de WDM es que la mayor parte de las redes existentes de *Fibra Óptica* soportan su utilización sin la necesidad de cambiar nada. Aunque los componentes son caros, las soluciones que utilizan WDM suelen ser más baratas que otras.

Aun así no todos los tipos de fibra admiten la tecnología WDM, debido a las tolerancias y ajustes de los láseres y filtros son muy críticos. Por otra parte presentan el problema de la normalización, inexistente hasta la fecha, ya que no se garantiza la compatibilidad entre los equipos.



Rodrigo Silva T.  
rsilva@espe.edu.ec