

# Comunicaciones

## Clase 10

### Transporte de señales

1

#### Mejoras de la capacidad de un canal

- Transmisiones multinivel: limitado por la relación señal ruido.
- Aumentar la velocidad de modulación
- Enviar varias comunicaciones simultáneas usando multiplexación
- Utilizar al máximo el ancho de banda disponible en el medio con el hardware necesario.

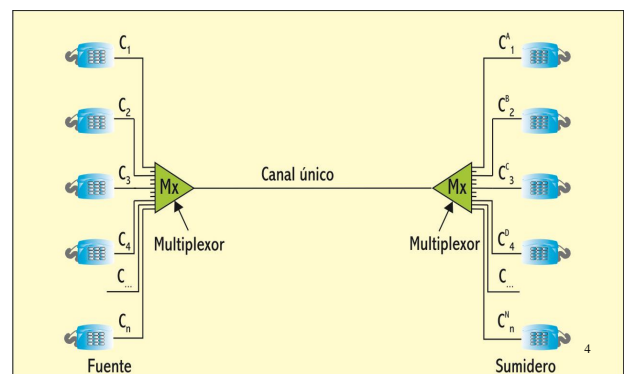
2

#### MULTIPLEXACION

Técnica que permite que por un único canal físico se cursen varias comunicaciones simultáneas sin interferirse entre sí. Se utilizan equipos **multiplexores**.

3

Multiplexar es repartir un único canal de comunicaciones de capacidad  $C$  entre  $n_i$  subcanales de entrada de capacidades  $C_i$  cuya suma de velocidades no puede superar el valor  $C$ .



4

#### Técnicas de multiplexación

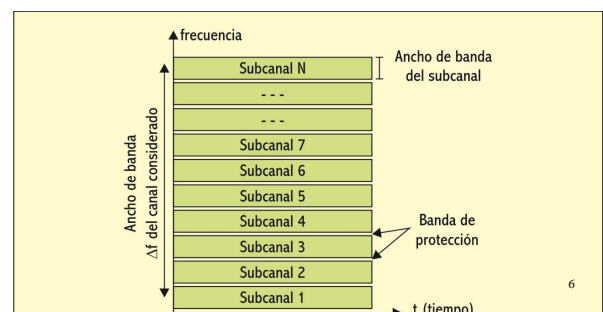
- Multiplexado por división de frecuencia (**FDM** - *Frequency Division Multiplexing*).
- Multiplexado por división de tiempo (**TDM** - *Time Division Multiplexing*).
- Multiplexado por división de tiempo estadístico (**STDM** - *Statistical Time Division Multiplexing*).

5

#### Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

Divide el ancho de banda disponible en varios subcanales independientes con una banda útil de 300 a 3.400 Hz.

Cada subcanal está separado del anterior y del posterior por una banda de protección, con una banda total de 4.000 Hz.



6

### Formación de un grupo primario

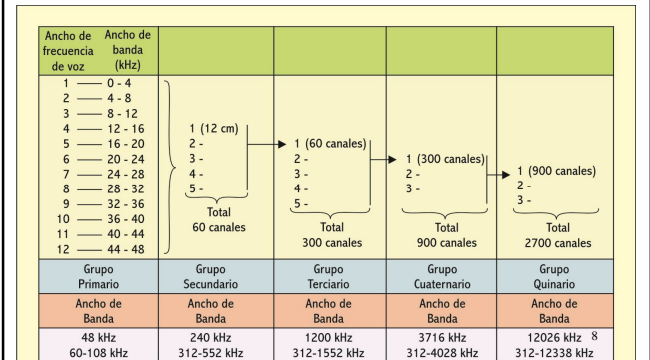
Hay doce canales de 4 kHz y cada uno es modulado en amplitud con una portadora diferente.

Se forma un grupo primario de 60 a 108 kHz.

CANAL DE VOZ	FRECUENCIA DE LA PORTADORA	ANCHO DE BANDA USADO
Canal 1	64 KHz	60 a 64 KHz
Canal 2	68 KHz	64 a 68 KHz
Canal 3	72 KHz	68 a 72 KHz
Canal 4	76 KHz	72 a 76 KHz
Canal 5	80 KHz	76 a 80 KHz
Canal 6	84 KHz	80 a 84 KHz
Canal 7	88 KHz	84 a 88 KHz
Canal 8	92 KHz	88 a 92 KHz
Canal 9	96 KHz	92 a 96 KHz
Canal 10	100 KHz	96 a 100 KHz
Canal 11	104 KHz	100 a 104 KHz
Canal 12	108 KHz	104 a 108 KHz

### Formación de grupos superiores de las jerarquías analógicas

Los grupos básicos se van modulando para obtener grupos superiores que transportan hasta 2.700 canales telefónicos.



### Acceso múltiple por división de frecuencia

Divide el ancho de banda en varios canales en función del servicio.

Se accede al medio a través de uno de los canales disponibles.

Los usuarios usan el ancho de banda asignado sin interferirse. Esta técnica es utilizada en sistemas GSM (telefonía móvil de segunda generación).

9

### Multiplexación por división de frecuencias ortogonales

La técnica OFDM envía un conjunto de subcanales con ondas portadoras ortogonales de diferentes frecuencias separadas por anchos de banda pequeños.

Al ser ortogonales no se interfieren a pesar de la cercanía.

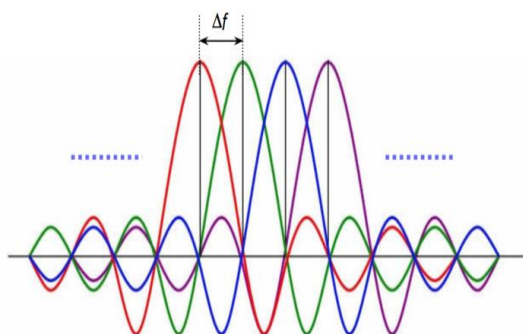
Cada una se puede modular por QAM o PSK.

Aplicaciones:

- Redes inalámbricas IEEE 802.11a, g y n (Wi-Fi).
- Redes de telefonía celular de cuarta generación (4G).
- Acceso de banda ancha móvil: IEEE 802.16e (WiMax).
- Sistemas para transmisión digital de señales de vídeo (TVDT).

10

### Señal OFDM



### Multiplexación por división de tiempo (TDM)

Divide el tiempo de transmisión de una secuencia de datos transmitida por un único canal de comunicaciones en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal se le asigna un segmento de dicho tiempo.

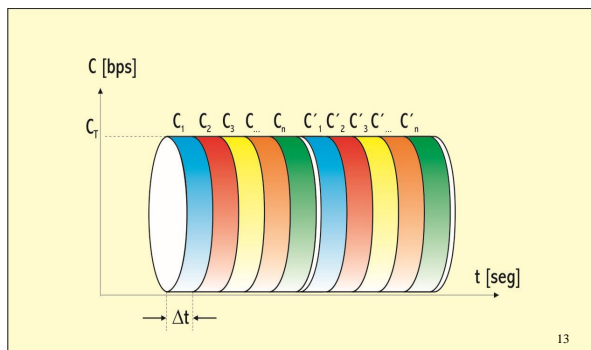
Se crean **ranuras de tiempo** que el multiplexor adjudica a los subcanales o señales de entrada.

Con los datos aportados por los subcanales se arma una **trama** que se envía a la línea de transmisión.

Es esencial que el transmisor y el receptor estén sincronizados para armar y desarmar la trama, compuesta por la información de los usuarios y por información de control del sistema.

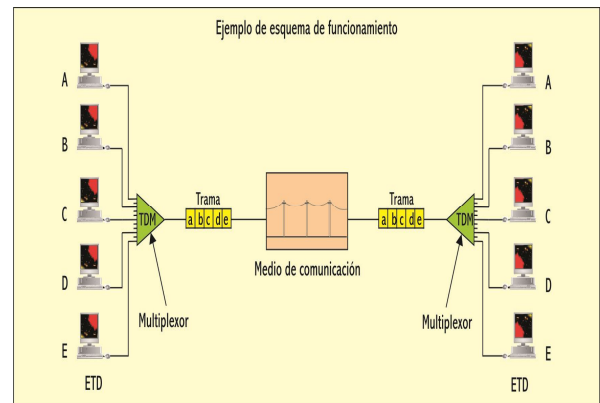
12

En la TDM los equipos terminales toman todo el ancho de banda del canal, una parte del tiempo.



13

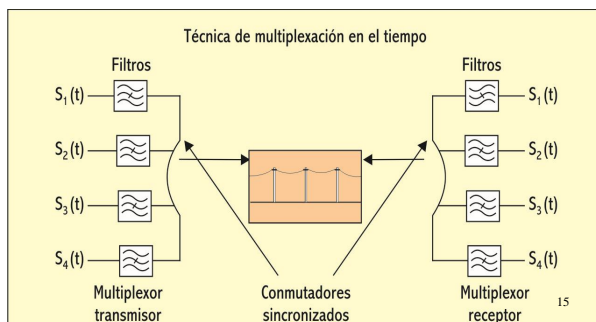
Ejemplo de esquema de funcionamiento



14

### Funcionamiento de la TDM

La podría hacer un conmutador rotativo electrónico en el transmisor, que tome secuencialmente muestras de cada señal. En el receptor existirá otro conmutador rotativo similar, sincronizado con el del transmisor.



15

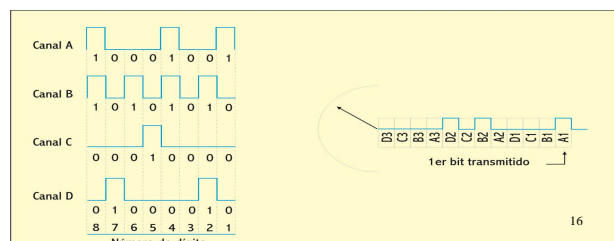
### Armado de las tramas

Hay dos formas para adjudicar las ranuras de tiempo o *slots*:

Entramado de bits: cada período de tiempo o *slot* se ajusta para que transporte un solo bit de cada terminal (dígito por dígito).

Cada trama está formada por los bits de sincronismo y por un bit de cada terminal.

Es económico en electrónica, no requiere almacenamiento

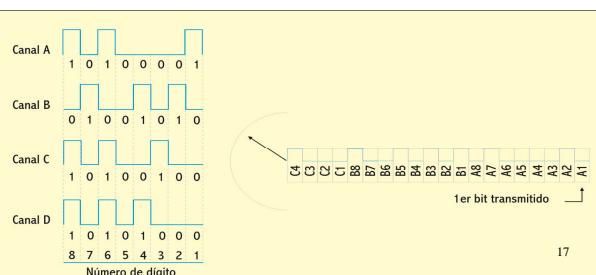


16

Entramado de caracteres: se usa para señales compuestas por un grupo de caracteres que deben mantener su integridad.

La llave rotativa del multiplexor deberá detenerse en cada entrada de canal mientras está siendo transferido el carácter.

Requiere almacenamiento local mientras se espera la siguiente transferencia.



17

### Formación de grupos básicos

En la norma europea las señales de voz se codifican en PCM en 64 kbit/s (canal E0).

Se forman grupos de 30 canales de voz y dos canales adicionales para sincronismo y señalización.

$32 \times 64 = 2.048$  kbit/s, aproximadamente 2 Mbits/s (canal E1).

En la norma americana las señales de voz se codificaban en PCM en 56 kbit/s pero luego pasaron a 64 kbit/s (canal T0).

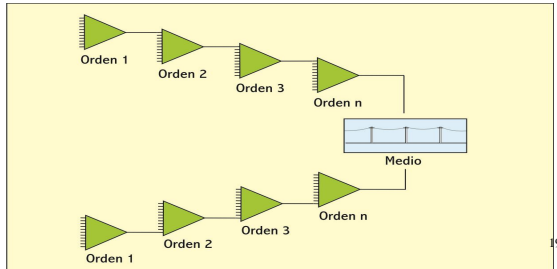
Se forman grupos de 24 canales de voz con un sincronismo resultando 1.544 kbit/s, aproximadamente 1,5 Mbits/s (canal T1).

18

### Formación de órdenes superiores de multiplexación

La primera generación de TDM son los Sistemas Plesiócronicos (casi sincrónicos) porque tienen una tolerancia amplia con las tramas (pueden variar 50 ppm).

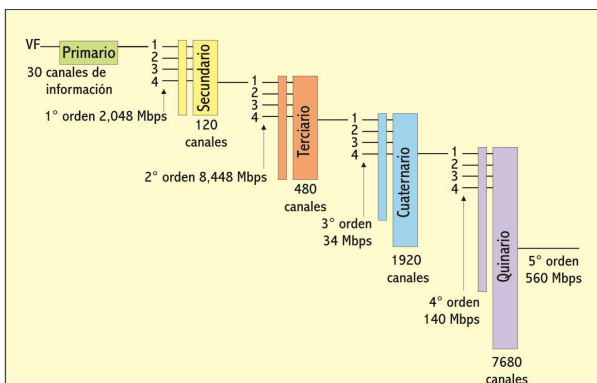
El conjunto de los distintos niveles forma la **Jerarquía Digital Plesiócrica** (UIT - T en Recomendación G.701).



19

Orden	Velocidad de transmisión	Cantidad de bits por trama	Duración de la trama $\mu s$	Nº de Canales
1	2,048 Mbps	256	125,00	30
2	8,448 Mbps	848	100,38	120
3	34,368 Mbps	1536	44,69	480
4	139,264 Mbps	2904	20,85	1920
5	564,992 Mbps	2688	4,70	7680

20



21

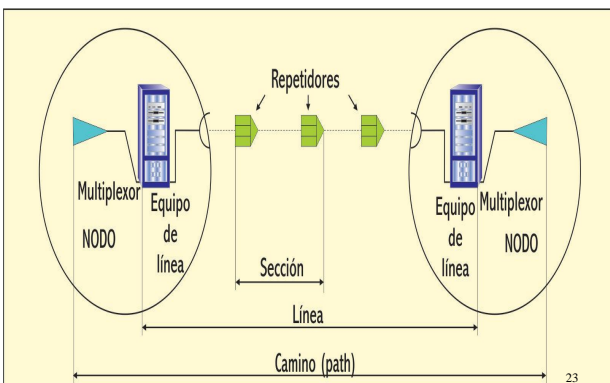
### JERARQUIA DIGITAL SINCRONICA (SDH)

Transporta las señales tributarias PDH y nuevos servicios.

Hay cinco niveles jerárquicos que parten de una velocidad básica 155,22 Mbps.

Denominación	Velocidad exacta	N	Número de canales	Velocidad simplificada
STM - 1	155,520 Mbps	1	1.890	155 Mbps
STM - 4	622,060 Mbps	4	7.560	620 Mbps
STM - 16	2488,320 Mbps	26	30.240	2,5 Gbps
STM - 64	9953,280 Mbps	64	120.960	10 Gbps
STM - 256	39813,120 Mbps	256	483.840	40 Gbps <sup>22</sup>

### Esquema de sistema SDH



23

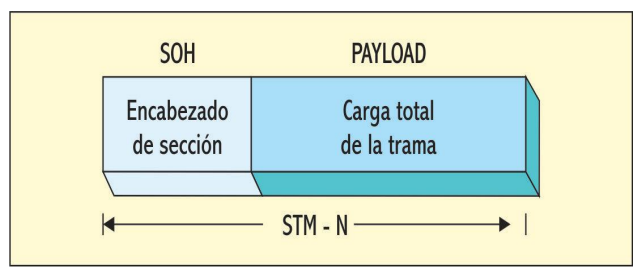
### Tramas SDH

Las tramas SDH se analizan en dos dimensiones.

La trama STM - N (Módulo para el Transporte Sincrónico para el nivel N) tiene dos secciones:

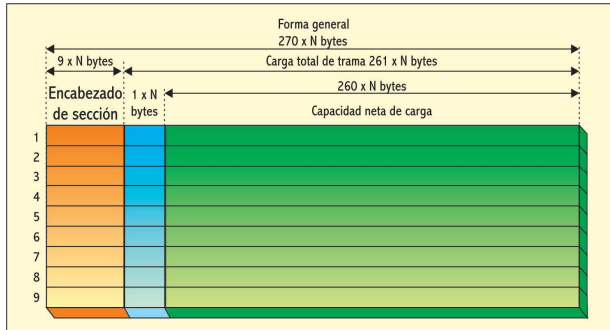
-Section Overhead - SOH (encabezado de sección)

-Payload (capacidad total de carga de la trama).



### Módulo de Transporte Sincrónico STM – 1

- tiene 270 columnas de 9 bytes = 2.430 bytes/trama
- hay 8 bits por byte y 8.000 tramas por segundo
- luego son  $2.430 \times 64.000 = 155,520$  Mbps



### Contenedores virtuales

El sistema SDH puede transportar señales multiplexadas por equipos PDH mediante Contenedores Virtuales (VC) que permiten transportar la información útil (Capacidad Neta de Carga).

Número	Designación del Contenedor	Velocidad de la multiplexación PDH
1	VC - 11	1,544 Mbps
2	VC - 12	2,048 Mbps
3	VC - 2	6,048 Mbps
4	VC - 3	34,368 y 44,736 Mbps
5	VC - 4	139,264 Mbps

La capacidad total neta de carga de una trama se podrá llenar con variadas combinaciones de contenedores que podrán transportar sistemas tributarios plesiócronicos de orden inferior. Se pueden formar contenedores de orden superior con combinaciones de orden inferior.

Contenedor Virtual	Combinaciones posibles con otros valores
VC - 4 - 139,264 Mbps	Una señal cuaternaria plesiócrona de igual valor Tres contenedores VC - 3 (34,368 ó 44,736 Mbps)
VC - 3 - 34,368 ó 44,736 Mbps	7 contenedores VC - 2 28 contenedores VC - 11 21 contenedores VC - 12 Combinaciones de los anteriores, sin superar el valor máximo

### SONET

Es la versión americana del SDH con distintas tramas y velocidades.

La Jerarquía SONET comienza en STS-1 (51,84 Mbps).

Los niveles se denominan "OC - n" (Optical Carrier).

NIVELES			VELOCIDADES	
ÓPTICO	ELECTRICO	ENCABEZAMIENTO	UTIL	TOTAL
OC - 1	STS - 1	1,728 Mbps	50,112 Mbps	51,840 Mbps
OC - 3	STS - 3	5,184 Mbps	150,336 Mbps	155,520 Mbps
OC - 9	STS - 9	15,552 Mbps	451,008 Mbps	466,560 Mbps
OC - 12	STS - 12	20,736 Mbps	601,334 Mbps	622,080 Mbps
OC - 18	STS - 18	31,104 Mbps	902,016 Mbps	933,120 Mbps
OC - 24	STS - 24	41,472 Mbps	1,202,688 Mbps	1,244,160 Mbps
OC - 36	STS - 36	62,208 Mbps	1,804,032 Mbps	1,866,240 Mbps
OC - 48	STS - 48	82,994 Mbps	2,405,376 Mbps	2,488,320 Mbps
OC - 96	STS - 96	165,888 Mbps	4,810,752 Mbps	4,976,640 Mbps
OC - 192	STS - 192	331,776 Mbps	9,621,504 Mbps	9,953,280 Mbps
OC - 768	STS - 768	1,327,104 Mbps	38,486,016 Mbps	39,813,120 Mbps

### Multiplexación por división de tiempo estadística

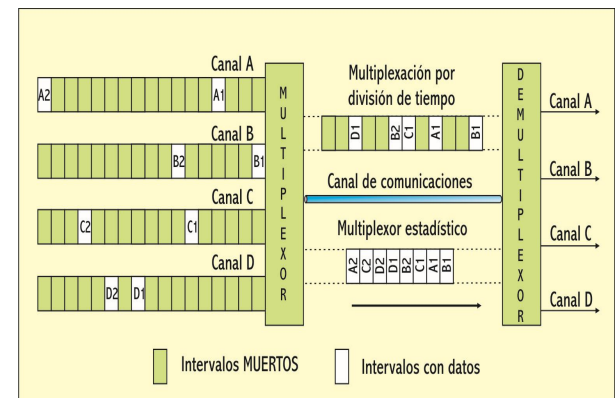
Statistical Time Division Multiplexing (STDM), es una variante de la TDM que trata de aprovechar los tiempos muertos de transmisión en las líneas.

Se denominan **estadísticos** por asignar un régimen de tiempo de transmisión a los terminales según una base estadística y no **igual valor temporal para cada equipo terminal**.

La base estadística se determina en función de la actividad de los terminales.

Se pueden aprovechar todos los segmentos de transmisión.

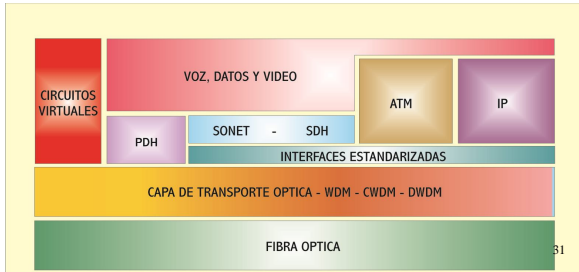
Se reduce el número de caracteres de sincronismo utilizando tramas largas.



## REDES OPTICAS

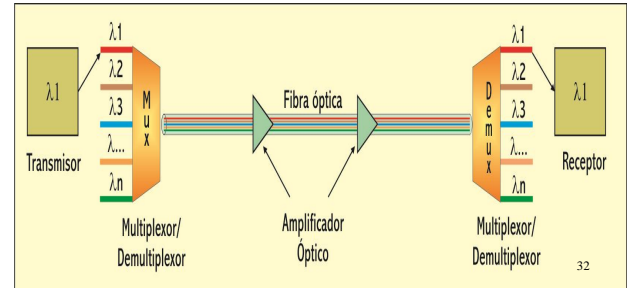
Nodos interconectados por enlaces de fibra óptica que proporcionan funciones de transporte, multiplexación, enrutamiento y gestión (Capa de Transporte Óptica).

Sobre la misma funcionan diversas tecnologías que la usan como Capa Física del Modelo OSI (Recomendación G.872).



La Capa de Transporte Óptico permite brindar servicio a distintas capas de diferentes protocolos (ATM, IP, SDH).

La Capa de Transporte Óptico requiere fibras ópticas, transponder (convertidores de longitud de onda), multiplexores ópticos, amplificadores, preamplificadores y otros dispositivos.



## Ventajas de las redes ópticas

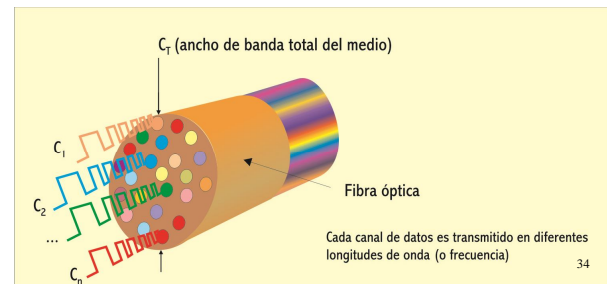
- Grandes anchos de banda.
- Compatibles con los servicios de voz, datos y vídeo.
- Avances tecnológicos continuos, en especial en DWDM.
- Cables construidos con muchas fibras.
- Son inmunes a las interferencias electromagnéticas.
- Poseen tasas de errores reducidas.
- Atenuación muy baja, permite grandes distancias sin amplificadores.
- Mayor seguridad que los enlaces de cable de cobre o los inalámbricos.

33

## Multiplexación por división de longitud de onda

En el rango de las frecuencias muy elevadas usadas para los rayos de luz, se habla de la longitud de onda más que de la frecuencia.

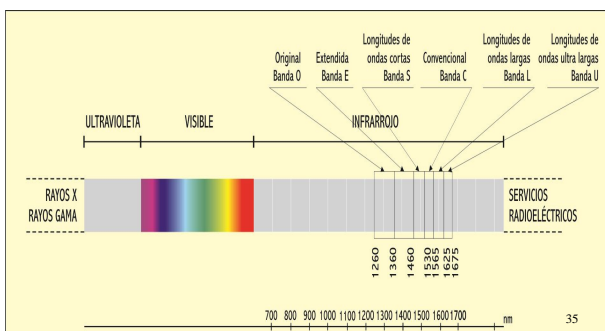
Se puede enviar por una única fibra óptica varios canales diferentes, cada uno con su propia longitud de onda.



34

## Sistemas ópticos WDM

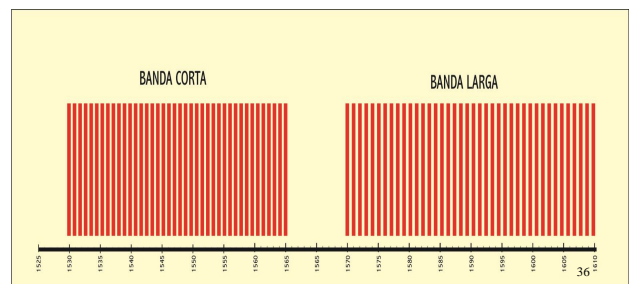
Hacen multiplexación por división de longitud de onda para tener muchos canales por la misma fibra.



35

Con atenuación media de 0,2 dB/km se logra 200 Mbps en enlaces de 43 a 50 km en modo bidireccional (un par de fibras).

Se puede multiplexar la longitud de onda inicialmente en ocho canales, posteriormente en diez y luego a cuarenta operando en la banda C (tercera ventana).



36



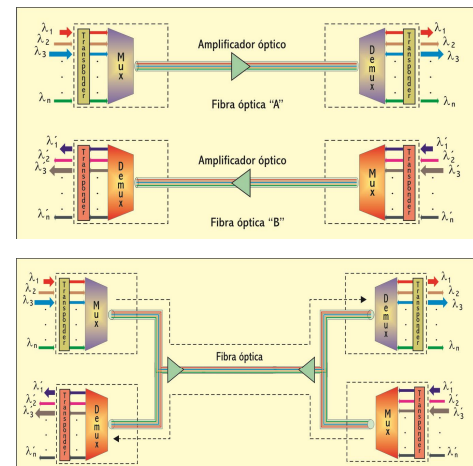
Los sistemas WDM sobre una única fibra pueden funcionar en forma unidireccional o bidireccional (en dos ventanas)

Usando una sola ventana para la transmisión en ambos sentidos se deben utilizar dos fibras: una para transmisión y otra para recepción.

Las normas que utilizan los fabricantes se denominan:

- DWDM (*dense*) Multiplexación Densa
- CWDM (*coarse*) Multiplexación Gruesa

37



38

### Capacidad de las fibras

DWDM permite distintas configuraciones:

- 40 canales separados a 100 GHz
- 80 canales separados a 50 GHz
- 160 canales separados a 25 GHz.

Cuanto mayor es el número de canales, menor es la velocidad a la que se puede transmitir por cada uno.

Hay sistemas de distintos fabricantes:

- 80 canales de 2,5 Gbps (200 Gbps en total)
- 40 canales de 10 Gbps (400 Gbps)
- 80 canales de 10 Gbps (800 Gbps).

39

### Amplificadores ópticos

La propagación a través del sistema sufre atenuaciones debido a las fibras, los acopladores, multiplexores, *transponder*, etc.

Para restaurar el nivel de calidad se utilizan regeneradores que convierten señales ópticas a eléctricas y nuevamente en ópticas.

Actualmente se usan **amplificadores ópticos** que no requieren la conversión óptica- eléctrica-óptica y permite transmitir señales ópticas a distancias mucho mayores.

Hay de tres tipos:

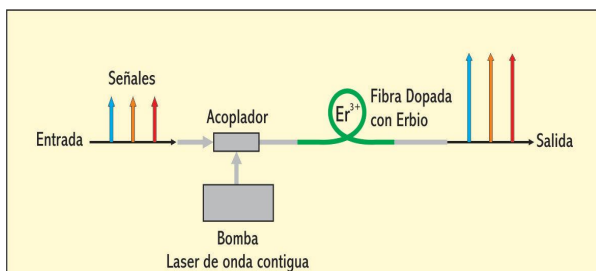
- de fibra dopada
- Raman
- semiconductores

40

### Amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA)

Usan fibras dopadas con tierras raras, en particular erbio ionizado en forma trivalente (erbio  $\text{Er}^{3+}$ ).

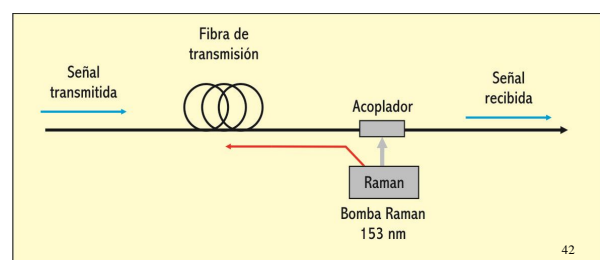
Utilizan el fenómeno de emisión estimulada, que se concentra en la misma dirección y sentido del haz de luz que actúa como estimulador.



### Amplificador de Raman

Utilizan el efecto Raman que es una interacción no lineal entre la señal óptica y una señal generada por una bomba de gran potencia implementada con diodos láser.

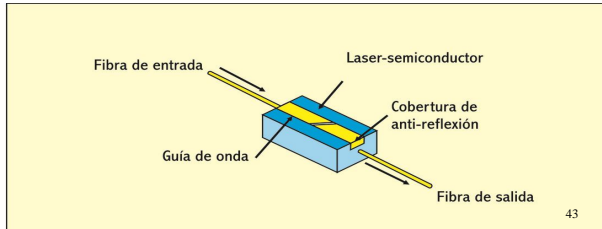
Las fibras monomodo usadas con amplificadores Raman no requieren ser dopadas con tierras raras.



42

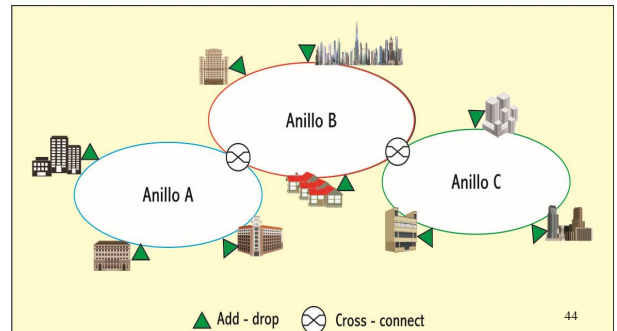
### Amplificador óptico de semiconductores

Son diodos láser sin espejos finales con fibras unidas en cada extremo. Poseen una capa antireflectante y una guía de onda cortada en ángulo para evitar que se comporte como un láser. Comparados con los EDFA, tienen menos ganancia, altas pérdidas por acoplamiento, mayor factor de ruido, fuerte dependencia de la polarización y un comportamiento alineal.

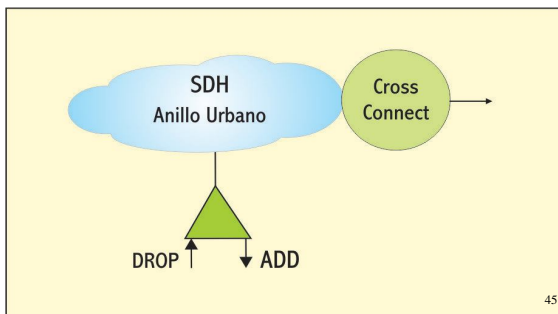


### Comunicaciones por redes ópticas

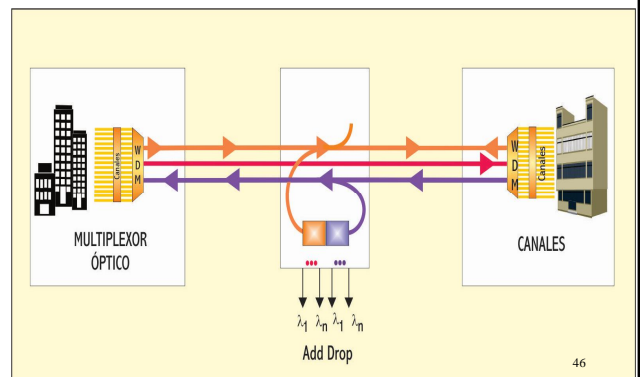
Las fibras ópticas se utilizan en Redes de Área Local, en anillos ópticos y en enlaces punto a punto.



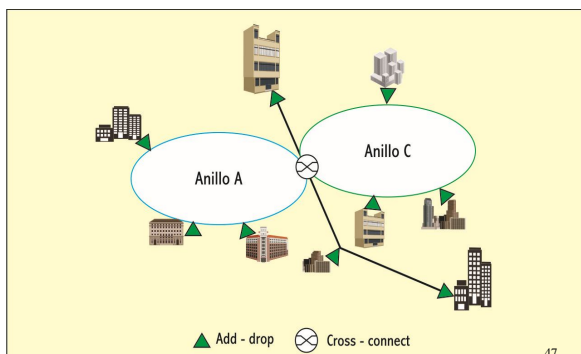
En enlaces punto a punto donde las fibras usen WDM en cada extremo se instalan terminales multiplexores para extraer los canales que transporta cada fibra. Hay equipos **crossconnect** y **add/drop** con un anillo óptico.



Enlaces punto a punto con derivaciones add/drop en la mitad del recorrido.



Enlace con derivaciones usando equipos cross-connect y add/drop.



### Funciones de transporte y conmutación

Las redes con anillos ópticos permiten que ante un corte en una parte del anillo, el tráfico automáticamente se redirige para que las dos partes en las que el anillo quedó dividido permanezcan con servicio.

Los tiempos para esta conmutación son menores a los 50 milisegundos.

Los equipos cross-connect permiten:

- la conmutación de las tramas, o parte de ellas
- transportar tramas desde un anillo hacia otro anillo adyacente



### Clasificación de las redes ópticas de transporte

La clasificación clásica es en área local (LAN), metropolitana (MAN) y extensa (WAN).

Esto no coincide con los criterios de las redes ópticas, donde mayor cubrimiento geográfico supone mayor capacidad posible.

Diferentes tipos de redes:

- Redes de Acceso.
- Redes Metropolitanas.
- Redes Regionales (LH) Alta Capacidad o de Larga Distancia.
- Redes Continentales o Submarinas (ULH) de muy Alta Capacidad o de Ultralarga Distancia.

49

