



**Δ Alfaomega Grupo Editor**

---

**Comunicaciones**

Castro-Fusario

**Capítulo 8:**

**Tecnologías para el transporte de  
señales**



## Temas:

- 8.1 Introducción
- 8.2 Multiplexación
- 8.3 Multiplexación por división de frecuencia (FDM)
- 8.4 Multiplexación por división de tiempo (TDM)
- 8.5 Multiplexación por división de tiempo estadística (STDM)
- 8.6 Redes ópticas
- 8.7 Transmisión sincrónica
- 8.8 Comunicaciones por redes ópticas
- 8.9 Jerarquía digital sincrónica
- 8.10 SONET - Synchronous Optical Network
- 8.11 Interrelación entre SONET y SDH
- 8.12 El futuro de las redes ópticas.



## 8.1 Introducción

### 8.1.1 La crisis del ancho de banda

La crisis del ancho de banda obligó a la digitalización de las redes hasta el usuario final.

Los pares telefónicos solo eran aprovechados hasta el límite de los  $3400\text{ Hz}$ .

Para enviar más que un canal telefónico se hace **multiplexación del ancho de banda**.

Tecnologías xDSL por cables de cobre hacen multiplexación:

- canal para voz
- banda de protección
- canal para datos.



### 8.1.2 Exaflood: un fenómeno de las crisis del ancho de banda

La crisis del ancho de banda y el aumento en las expectativas de los consumidores por servicios rápidos han dado lugar al fenómeno *Exaflood* o **Diluvio Digital**.

El nombre deriva de la palabra *exabyte*

$$1 \text{ EB} = 1.000.000.000.000.000 \text{ B} = 10^{18} \text{ B}$$

Alude a la avalancha de datos transmitidos a muy altas velocidades que afecta las redes y exige inversiones.

Los proveedores buscan reducir los costos del transporte de grandes volúmenes de tráfico a través de servicios innovadores.



### **8.1.3 Los requerimientos de ancho de banda de distintos sectores**

Hay necesidad de mayores anchos banda para:

- Empresas comerciales
- Organismos gubernamentales.
- Investigación y educación superior.
- Usuarios residenciales.



### 8.1.4 Distintas variantes para mejorar la capacidad de un canal

- Transmisiones multnivel: 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.



### 8.1.5 La idea de multiplexar

**Multiplexación:** técnica que permite que por un único canal físico de comunicaciones puedan cursarse varias comunicaciones simultáneas, sin que estas interfieran entre sí.

Los equipos que realizan estas funciones reciben el nombre de **multiplexores**.

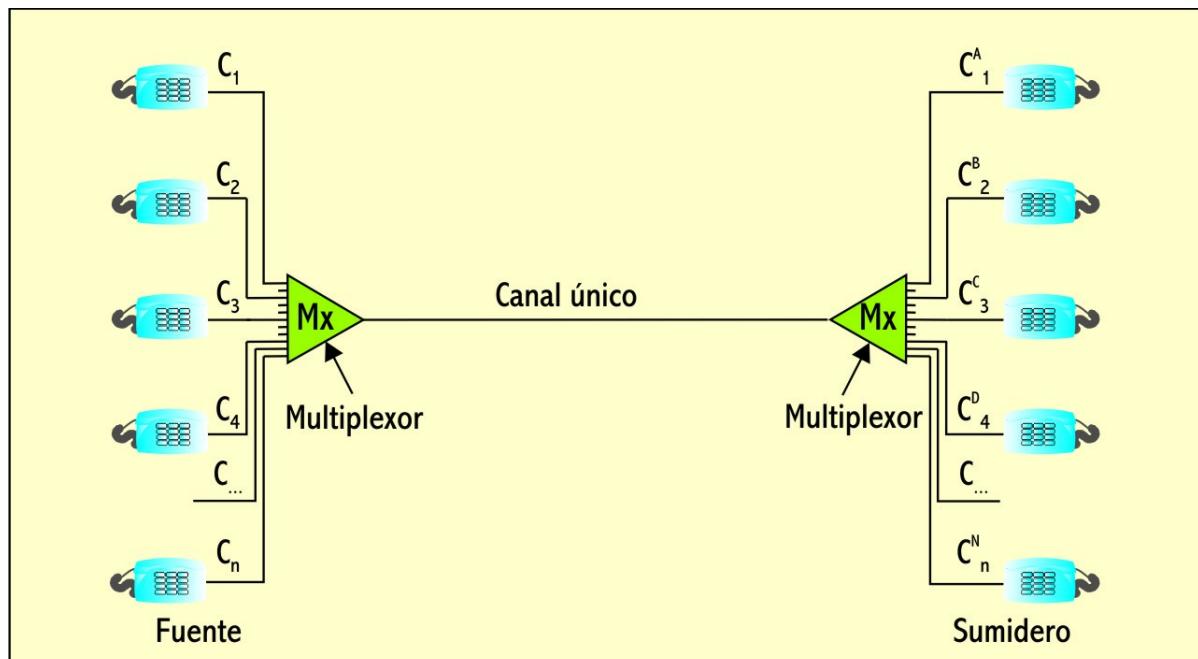
Estos equipos pertenecen también al grupo que conforma el denominado **circuito de datos**.



## 8.2 Multiplexación

### 8.2.1 Definición de multiplexación

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  $C$ .





## 8.2.2 Uso de las técnicas de multiplexación

- Proporcionan una solución rápida a la crisis del ancho de banda
- Utilizan plenamente el ancho de banda disponible en cada medio
- Permite mezclar canales de distintas capacidades.
- Proporcionar bifurcaciones sobre distintos circuitos.
- Permite enviar varios mensajes simultáneos entre dos puntos.
- Permiten ahorro de costos.



### 8.2.3 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*).

Los sistemas de multiplexado pueden utilizar técnicas denominadas plesiócronas o sincrónicas.



## 8.3 Multiplexación por división de frecuencia

### 8.3.1 Definición y breve reseña histórica

Divide el ancho de banda en subcanales independientes.

Cada subcanal tiene un rango de frecuencias diferente dentro del ancho de banda total.

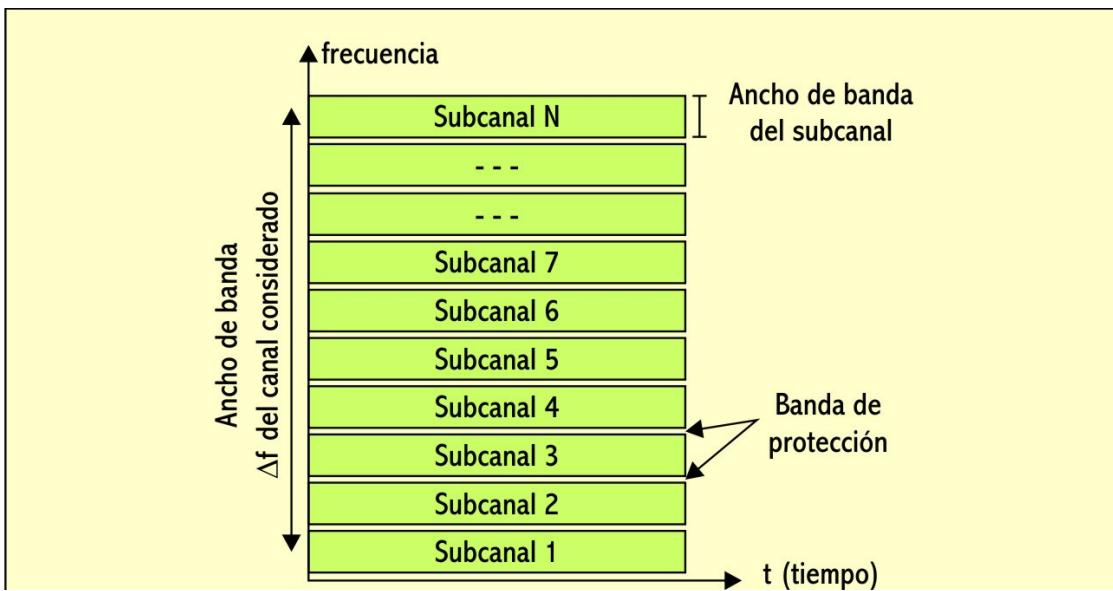
Los primeros multiplexores por división de frecuencia utilizaron técnicas de modulación por amplitud: cada canal usaba un tono de frecuencia distinta, que se hacía nula o no de acuerdo a la señal digital proveniente del terminal.



## 8.3.2 Esquemas de funcionamiento de la multiplexación por división de frecuencia

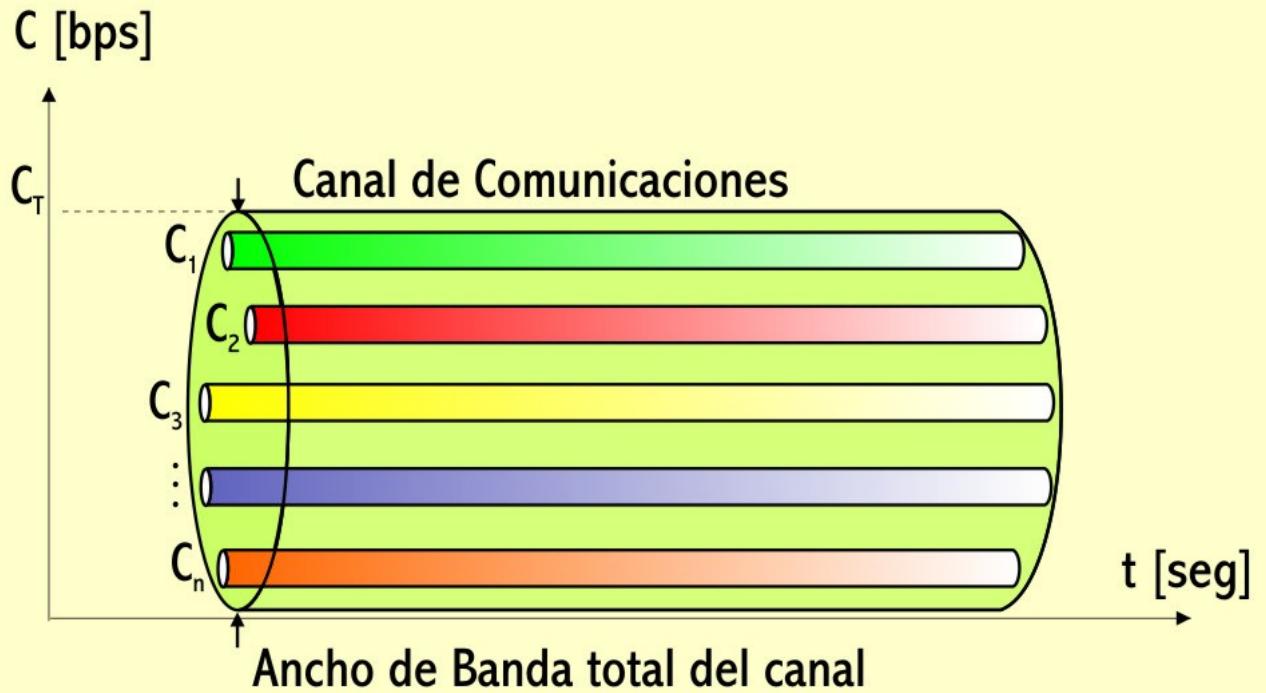
La multiplexación por división de frecuencia **divide** el ancho de banda disponible en el circuito de datos en varios **subcanales independientes**.

Cada subcanal está separado del anterior y del posterior por una denominada **banda de protección**.





Los equipos terminales que utilizan cada subcanal toman parte del ancho de banda del canal todo el tiempo.





### 8.3.3 Formación del esquema básico de multiplexación por división de frecuencia

Dos maneras diferentes de ensamblar los canales:

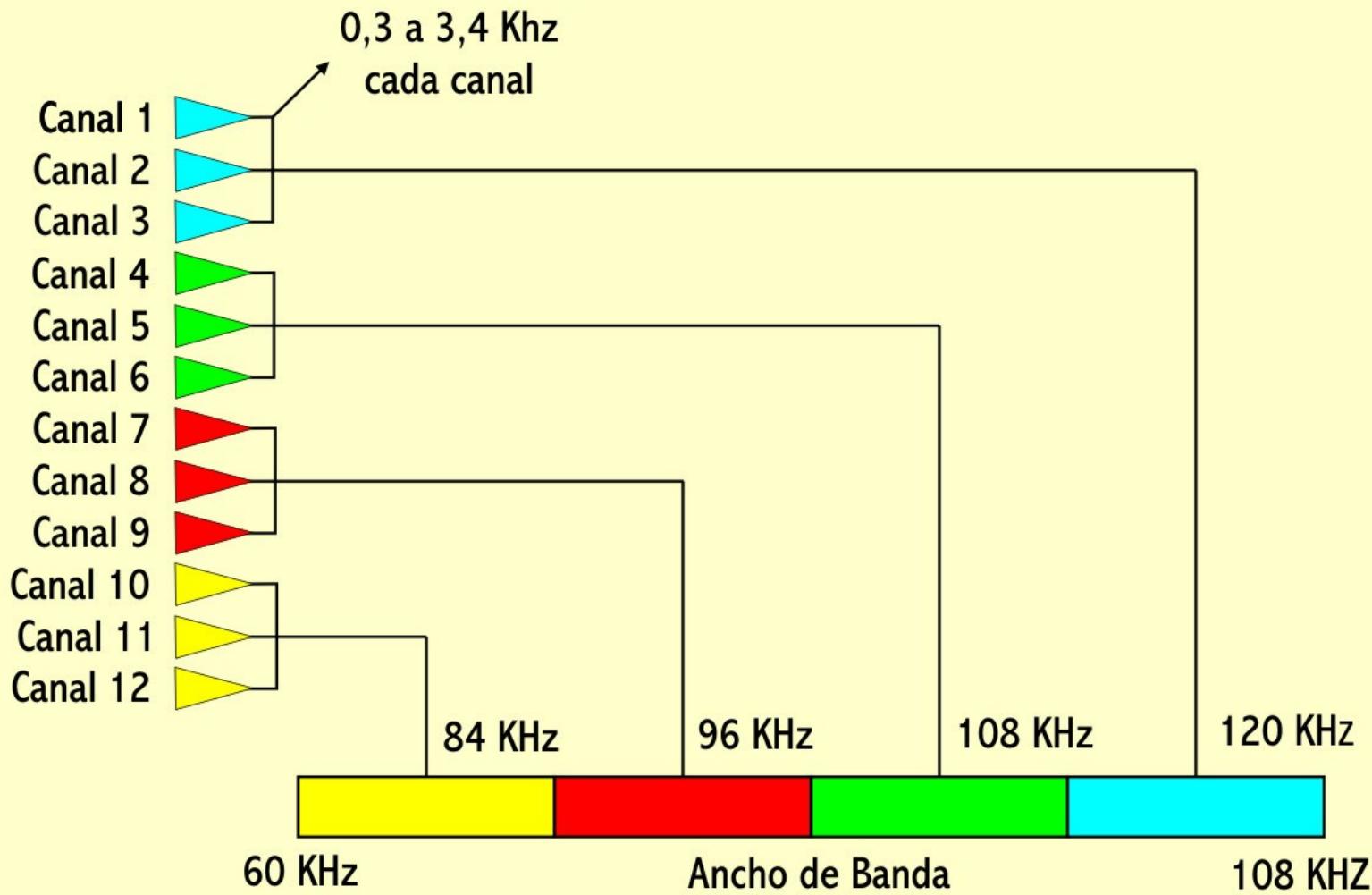
- Sistemas de Pregrupos con Traslación
- Traslación de Canales Simples.

#### Sistemas de pregrupos con translación:

- Combina tres canales de 4 kHz (incluye la banda de protección) en un pregrupo
- Canales modulados en banda lateral con supresión de portadora (reduce el ruido y facilita la demodulación en el receptor)

Combina cuatro pregrupos separados por 12 kHz sobre portadoras en las frecuencias de 84, 96, 108 y 120 kHz.

Forman un **Grupo Básico** de 12 canales en la banda entre 60 y 108 kHz.





**Traslación de canales simples:** cada canal de 4 kHz es modulado sobre una portadora diferente para cada uno de los 12 canales que forman el grupo primario.

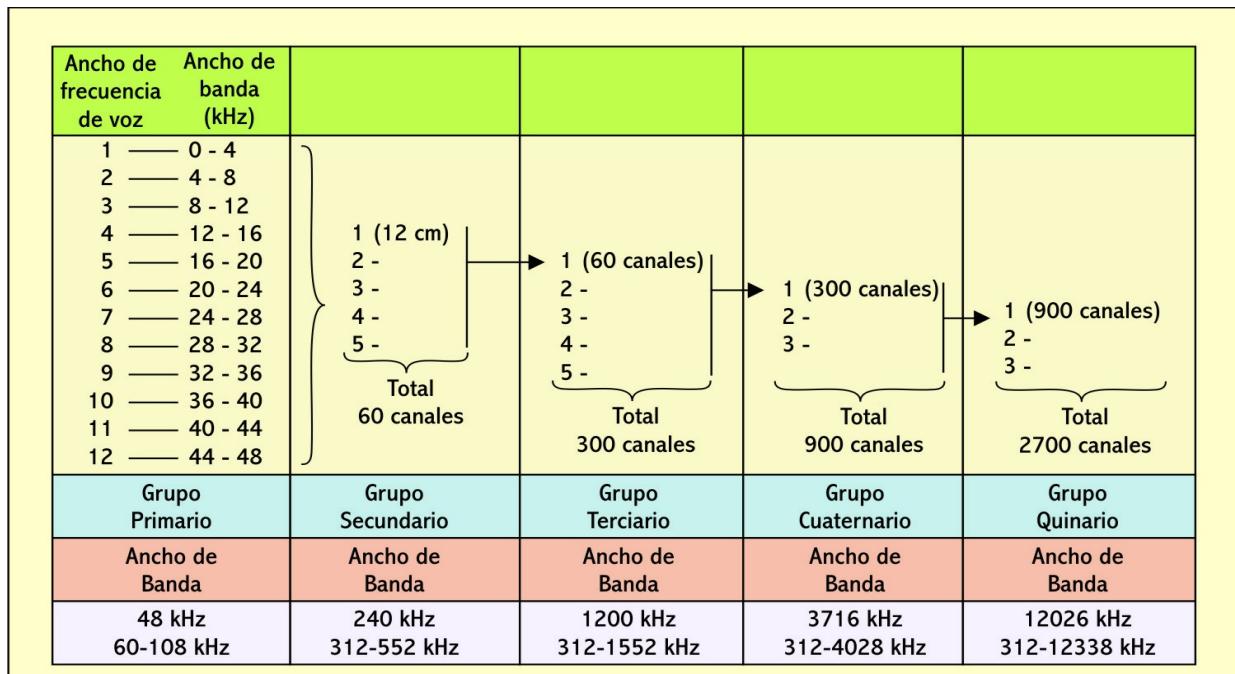
Cada canal es modulado en amplitud por una de 12 portadoras diferentes.

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



### 8.3.4 Formación de órdenes superiores de multiplexación de las jerarquías analógicas

Las técnicas que permiten formar esquemas con un mayor número de canales están basadas en el armado de combinaciones que dependen de la norma.





## 8.3.5 Utilización del concepto de multiplexación por división de frecuencia en otras aplicaciones

### 8.3.5.1 Acceso múltiple por división de frecuencia

Es una multiplexación que maneja varios protocolos en radiocomunicaciones (telefonía móvil).

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 utilizarán el ancho de banda asignado sin interferirse entre sí.

Esta técnica es utilizada en sistemas GSM (telefonía móvil de segunda generación).



### *8.3.5.2 Utilización del espectro para los servicios de radiodifusión*

Las ondas medias se usan para la radiodifusión comercial de modulación en amplitud.

En el espectro de 530 a 1.600 kHz se distribuyen las estaciones de AM.

Cada una transmite con una frecuencia de portadora distinta modulando en doble banda lateral de 10 kHz.

Las estaciones de frecuencia modulada comerciales operan en las muy altas frecuencias, en la banda de 87,5 MHz a 108 MHz con una separación de 100 kHz.

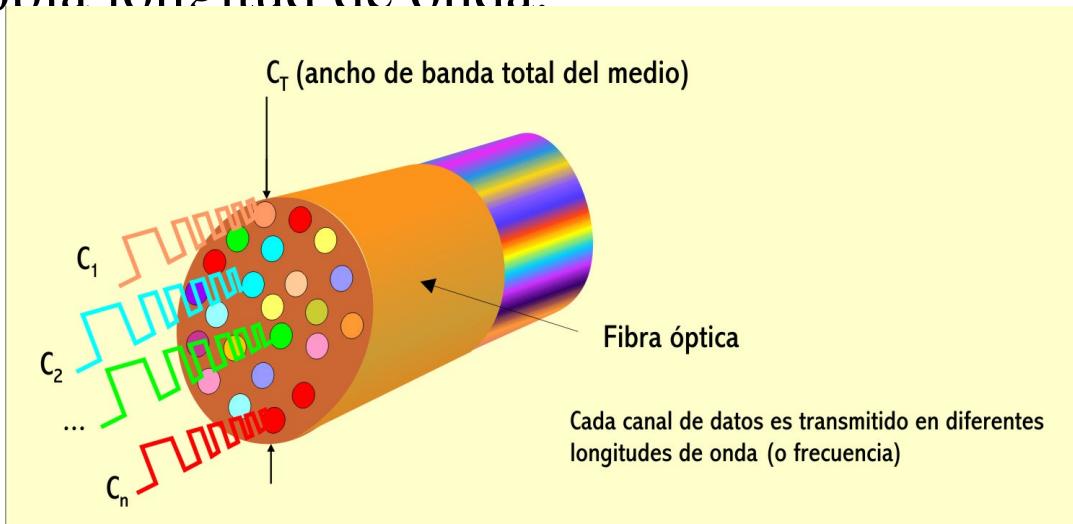
En otros pocos países se utilizan bandas de resguardo de 50 o 200 kHz.



### 8.3.5.3 Multiplexación por división de longitud de onda

Las frecuencias muy elevadas, como las utilizadas para los rayos de luz, se caracterizan por su longitud de onda más que por su frecuencia.

Se puede aumentar el ancho de banda disponible en los enlaces de fibra óptica al enviar por una única fibra varios canales diferentes, cada uno con su propia longitud de onda.





#### *8.3.5.4 Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM)*

Se envía un conjunto de subcanales con ondas portadoras ortogonales de diferentes frecuencias separadas por anchos de banda pequeños, moduladas con distintas tecnologías digitales (QAM o PSK) aplicable a:

- Tecnología PLC
- Redes inalámbricas IEEE 802.11a, g y n (Wi-Fi).
- Redes de telefonía celular de cuarta generación (4G): tecnología denominada LTE.
- Acceso de banda ancha móvil: IEEE 802.20/IEEE 802.16e (WiMax).
- Sistemas para transmisión digital de señales de audio y vídeo (DTV o DTT).



## 8.4 Multiplexación por división de tiempo

### 8.4.1 Introducción y definición

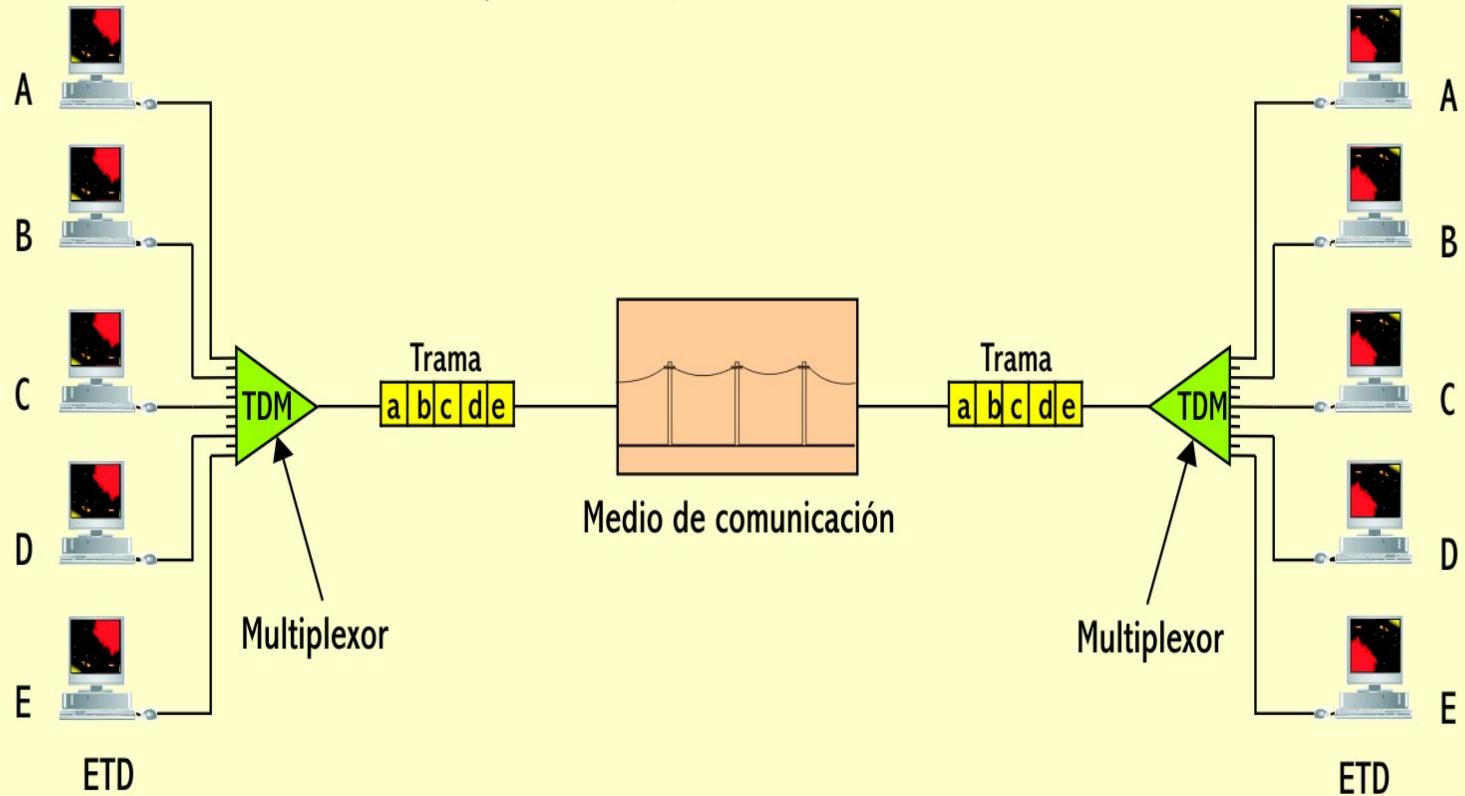
Divide el tiempo de transmisión de una secuencia de datos transmitida por un único canal de comunicaciones en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal se le asigna un segmento de dicho tiempo.

Usando un canal de transmisión se crean **ranuras de tiempo** que el **multiplexor** adjudica a los subcanales o señales de entrada de una manera determinada.

El multiplexor procederá a armar una trama con los datos aportados por los subcanales.



### Ejemplo de esquema de funcionamiento



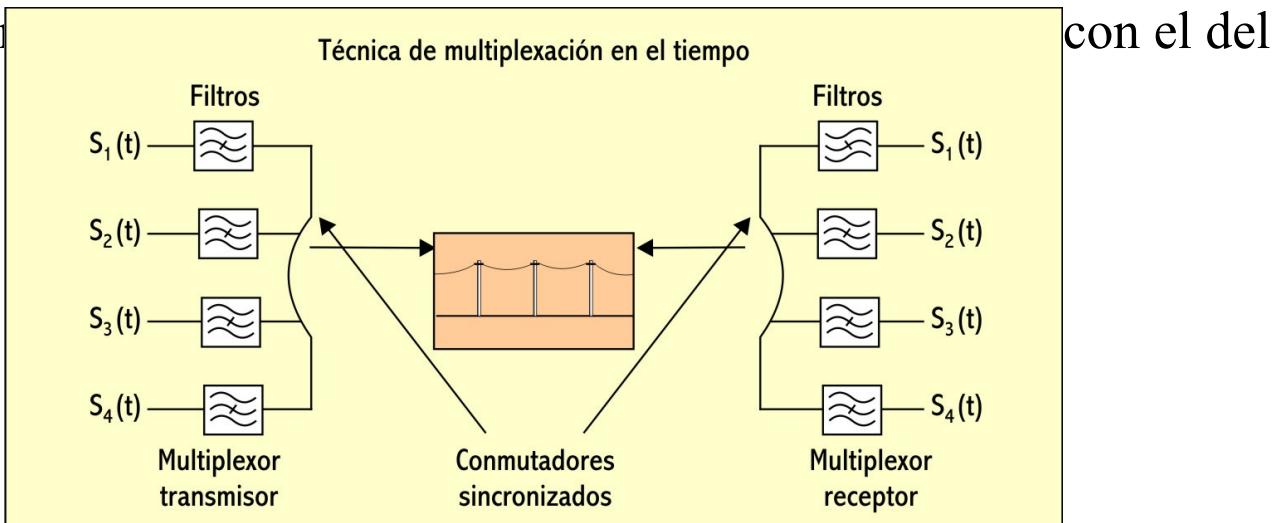


## 8.4.2 Esquema de funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo

### 8.4.2.1 Procedimiento general

La multiplexación la podría hacer un conmutador rotativo electrónico en el trasmisor, que toma secuencialmente muestras de cada señal correspondientes a cada subcanal.

En el receptor existiría el inverso del procedimiento, es decir, se separarían las señales con el fin de restituir la señal original.





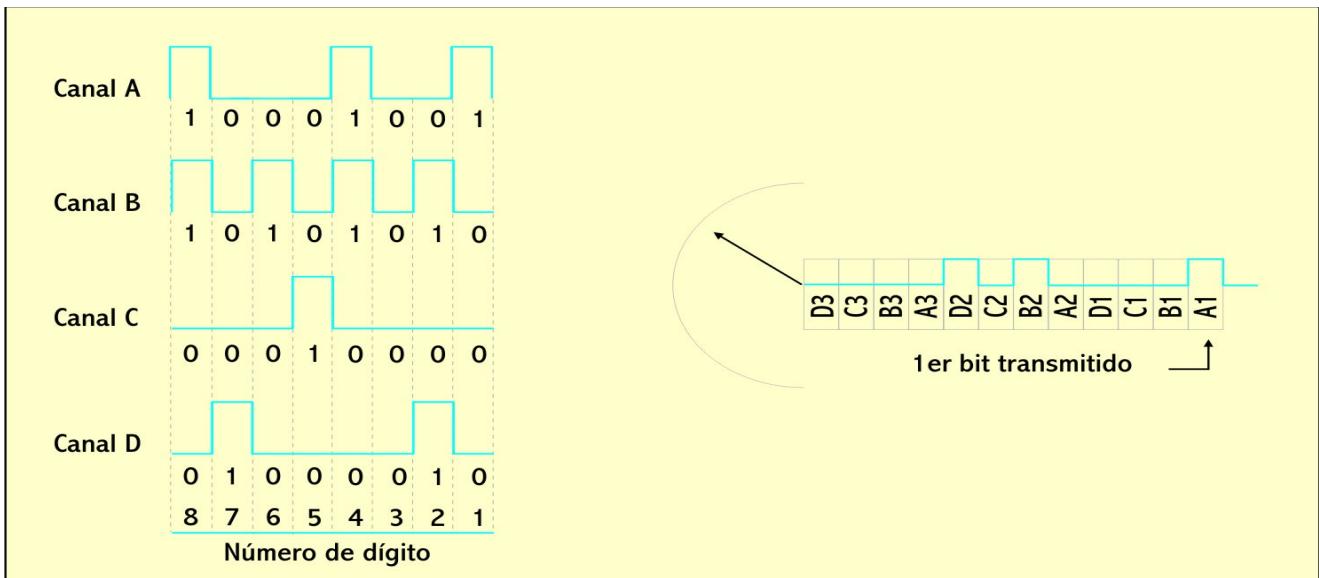
### 8.4.2.2 Armado de las tramas

Dos formas para adjudicar las ranuras de tiempo o *slots*:  
 -entramado de bits  
 -entramado de caracteres.

**Entramado de bits:** cada período de tiempo o *slot* se ajusta para que transporte un solo bit de cada terminal. También es denominado dígito por dígito o *digit interleaving*.

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

Esta técnica es económica en cuanto a la electrónica, no requiere almacenamiento

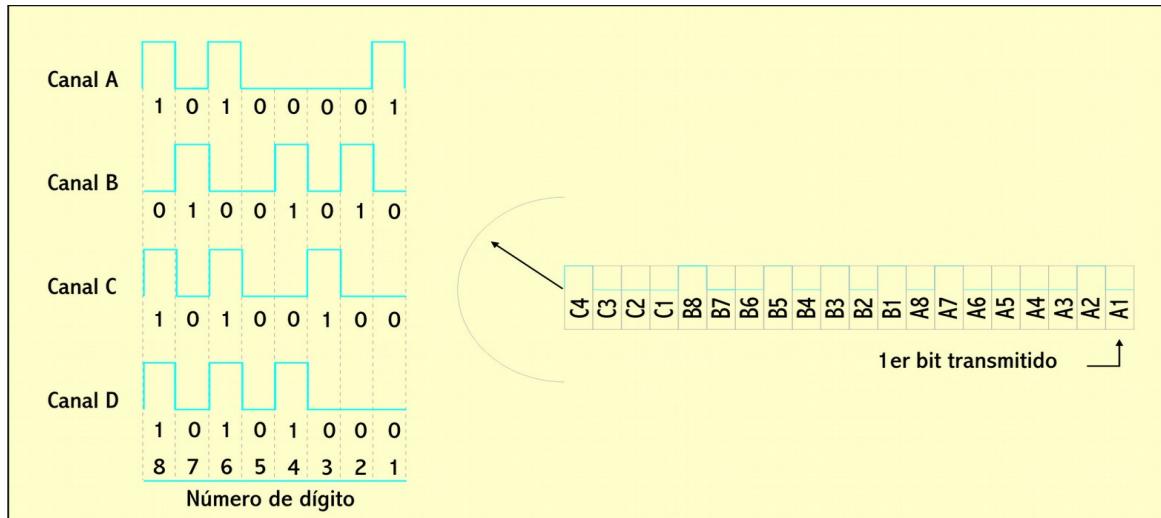




**Entramado de caracteres:** se denomina entrelazado o entramado de caracteres (palabras) y se emplea para señales compuestas por un grupo de caracteres que deben mantener su integridad.

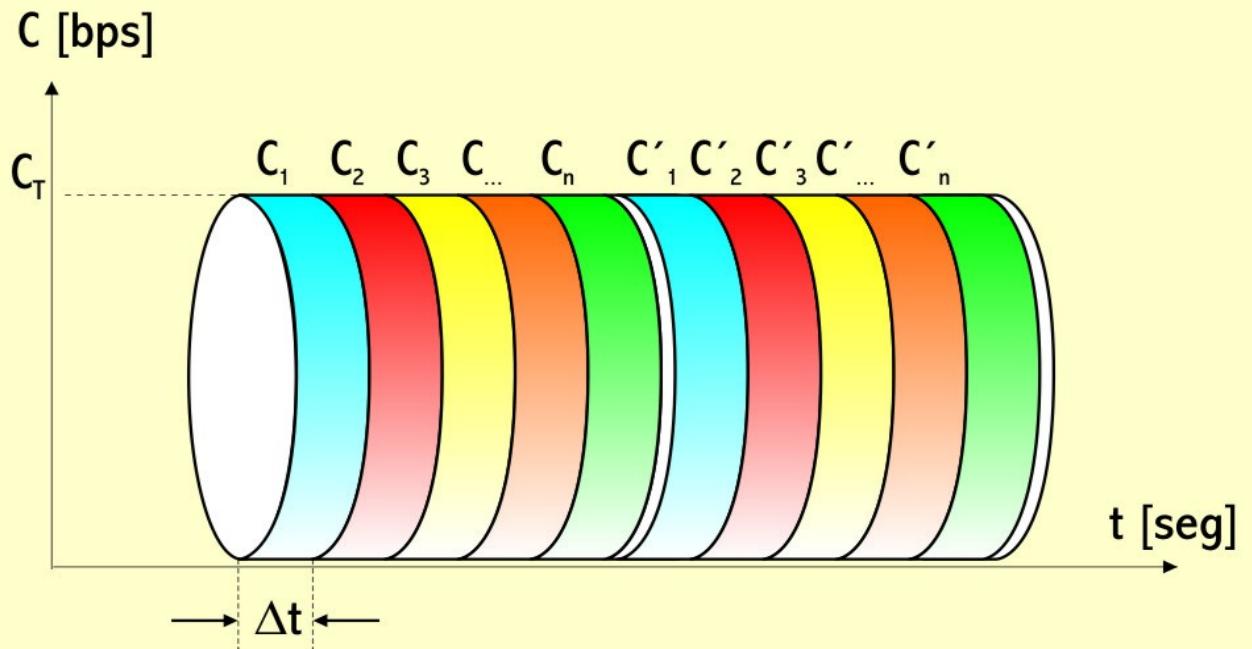
La llave rotativa del multiplexor deberá detenerse en cada entrada de canal mientras está siendo transferido el carácter.

Es necesario algún tipo de almacenamiento local mientras se espera la siguiente transferencia.





En la multiplexación por división de frecuencia los equipos terminales que utilizan cada subcanal toman todo el ancho de banda del canal, parte del tiempo.





### **8.4.3 Formación del esquema básico de multiplexación digital**

La técnica de modulación por pulsos codificados presenta numerosas ventajas sobre los sistemas analógicos.

La digitalización de las señales permite el uso de repetidores regenerativos.

Estos evitan que el ruido, la atenuación y la distorsión pasen a la sección siguiente.



## 8.4.4 Sincronización

El multiplexor y el demultiplexor deben tener los relojes de tiempo sincronizados para evitar que los bits transmitidos no lleguen en el orden adecuado y así puedan ser entregados al canal de salida al que pertenecen. Es necesario agregar bits de sincronismo para evitar errores en la transmisión de las tramas.

Estos bits permiten sincronizar el flujo que ingresa al demultiplexor para separar correctamente los distintos bits que forman cada muestra y de esta manera entregarla al canal correspondiente para que sea transmitida a su destino.

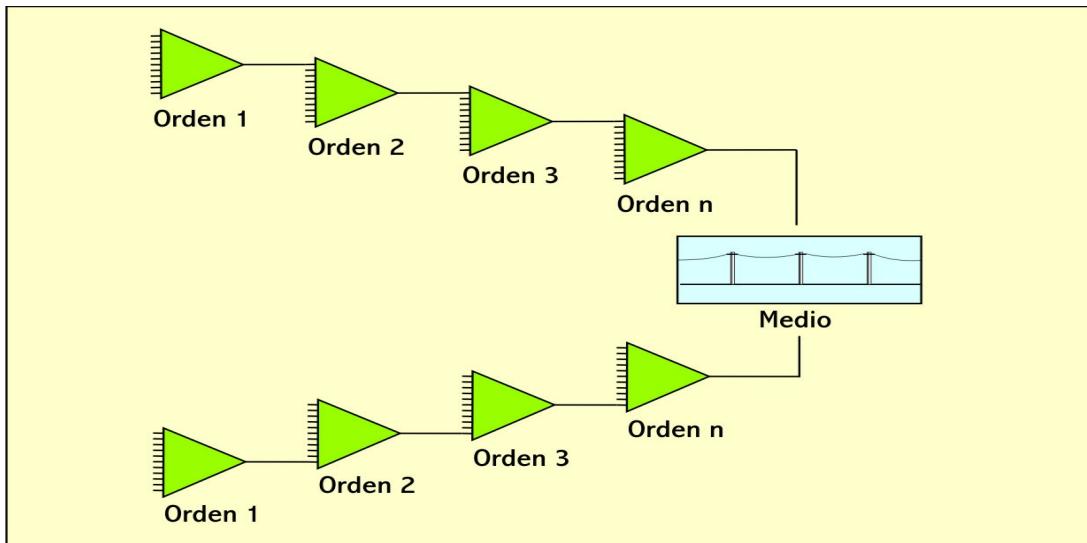


## 8.4.5 Formación de órdenes superiores de multiplexación de la jerarquía digital plesiócrona

Los sistemas de primera generación del tipo TDM se denominan técnicamente **Sistemas Plesiócronos**.

El conjunto de los distintos niveles forma la **Jerarquía Digital Plesiócrona**.

Definido por la UIT - T en su Recomendación G.701.

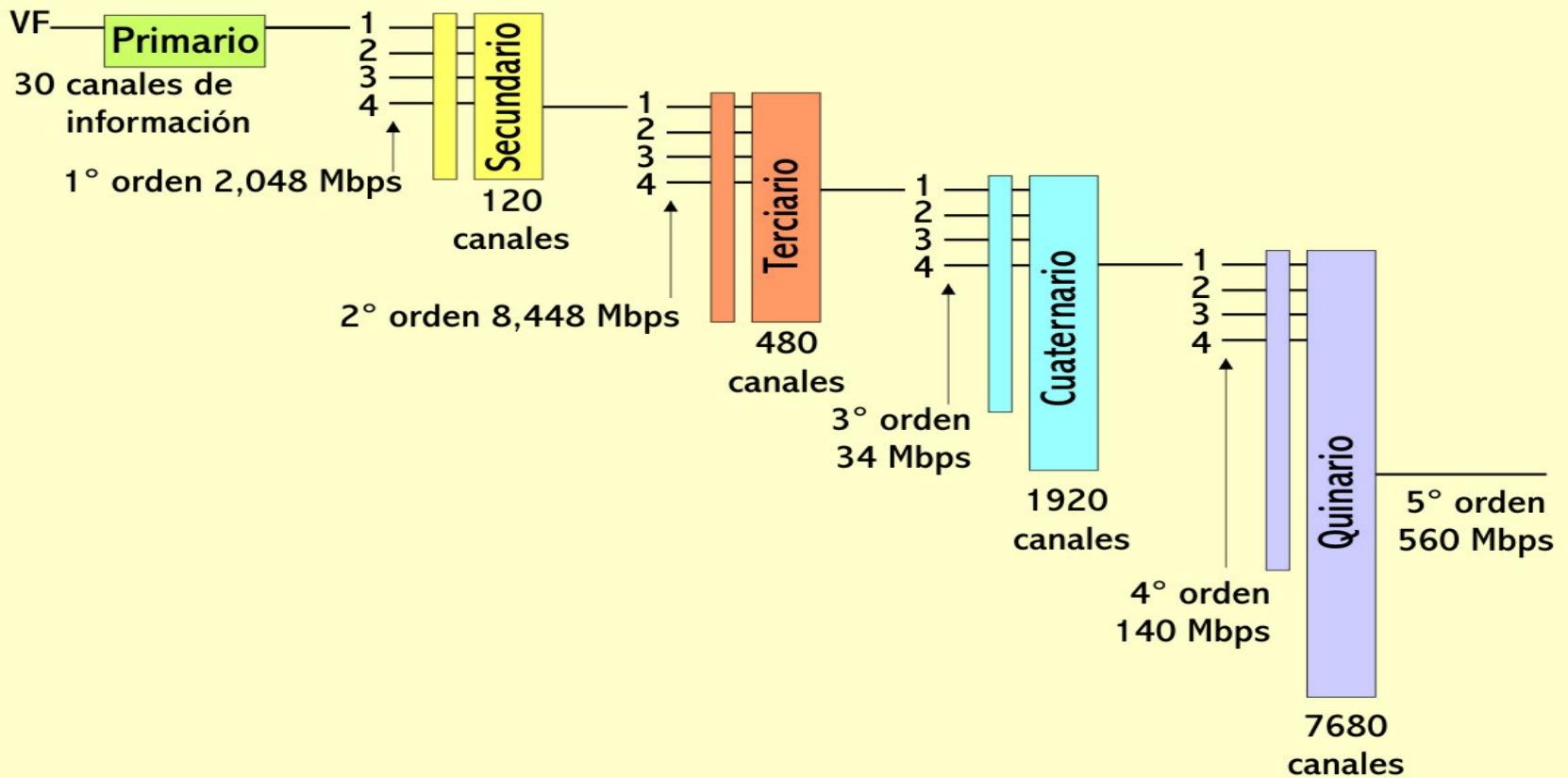




En la **Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH)** como en la **Jerarquía Digital Sincrónica (SDH)** el primer nivel corresponde al Grupo Básico de 2,048 Mbps.

Hay tres jerarquías de multiplexación: norma europea, americana y japonesa.

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





La norma japonesa respeta la norma americana en sus dos primeros órdenes, pero comienza a diferir en la forma de armar los órdenes tres y cuatro.

Orden <sup>16</sup>	Velocidad de transmisión	Grupos de orden inferior	Número de canales
DS1/T1	1,544 Mbps	---	24
DS2/T2	6,312 Mbps	4	96
DS3/T3	44,736 Mbps	7	672
DS4/T4 (E)	139,264 Mbps	3	2016
DS4/T4	274,176 Mbps	6	4032
DS5/T5	564,992 Mbps	12	8064

NOTA: Los órdenes DS4/T4 (E); DS4/T4 y DS5/T5 la cantidad grupos de orden inferior se refieren al grupo DS3/T3

Orden	Velocidad de transmisión	Grupos de orden inferior	Número de canales
1	1,544 Mbps		24
2	6,312 Mbps	4	96
3	32,064 Mbps	5	480
4	97,728 Mbps	3	1440



## 8.5 Multiplexación por división de tiempo estadística

### 8.5.1 Introducción

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

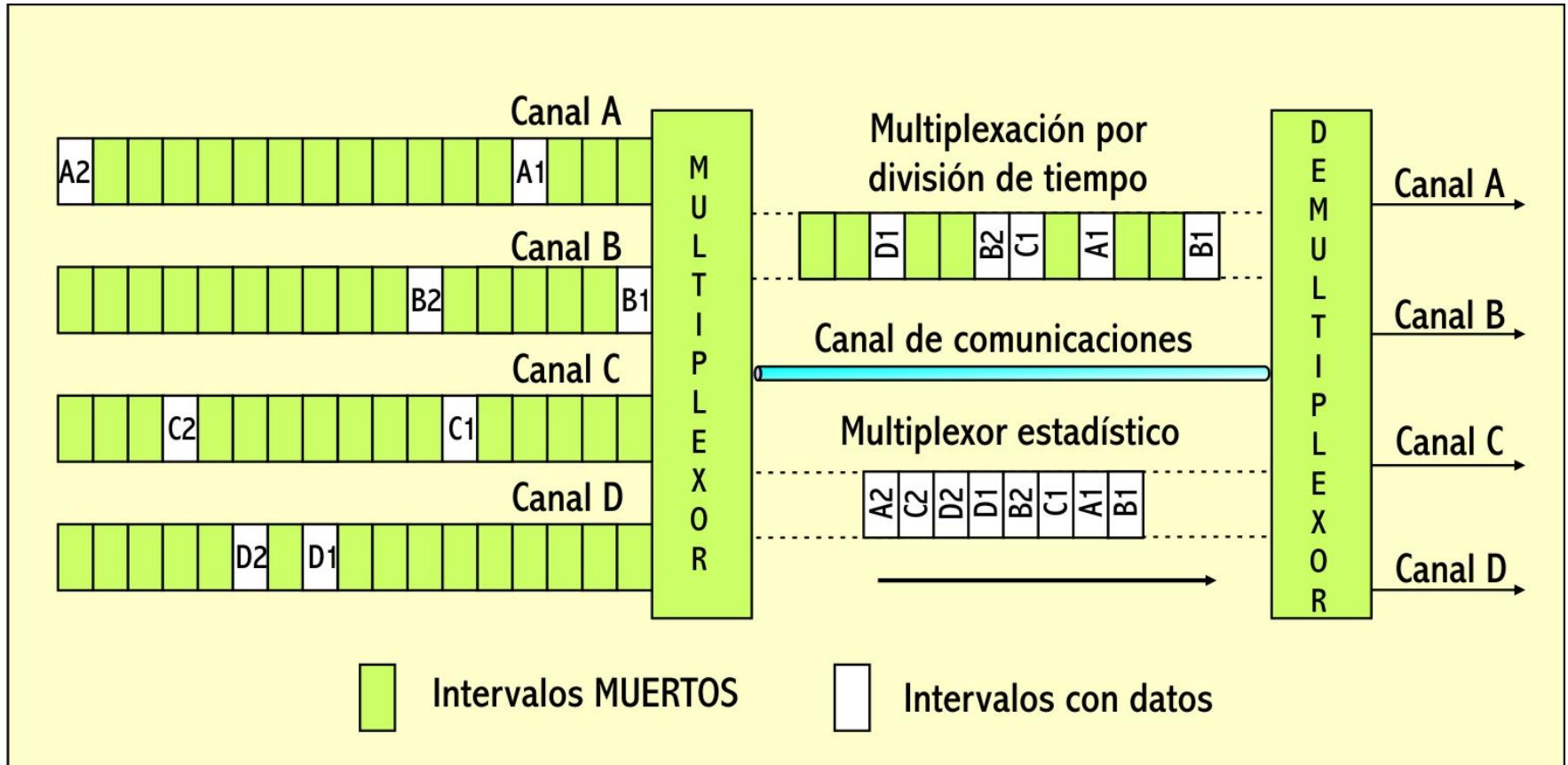
### 8.5.2 Esquema de funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo estadística

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.





## 8.6 Redes ópticas

### 8.6.1 Introducción

#### 8.6.1.1 Reseña histórica

Los primeros experimentos fueron desarrollados en 1952 por **Kapany**, quien utilizó los trabajos realizados en 1870 por el físico irlandés **John Tyndall**.

Los primeros usos en medicina son de 1956.



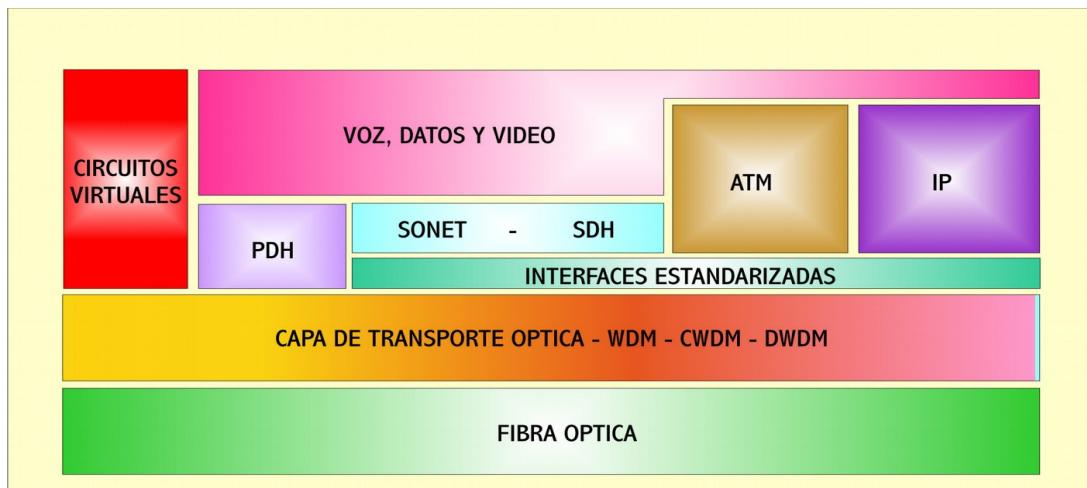
### 8.6.1.2 Definición y características

Redes ópticas poseen nodos interconectados por enlaces de fibra óptica.

Son capaces de proporcionar funciones de transporte, multiplexación, enrutamiento y gestión, constituyendo una capa de bajo nivel denominada Capa de Transporte Óptica sobre la cual pueden funcionar diversas tecnologías que permiten dar conectividad utilizando las mismas como Capa Física del Modelo OSI.

Las señales portadoras digitales son independientes de los protocolos de los usuarios.

Ver Recomendación G.872 de la UIT.



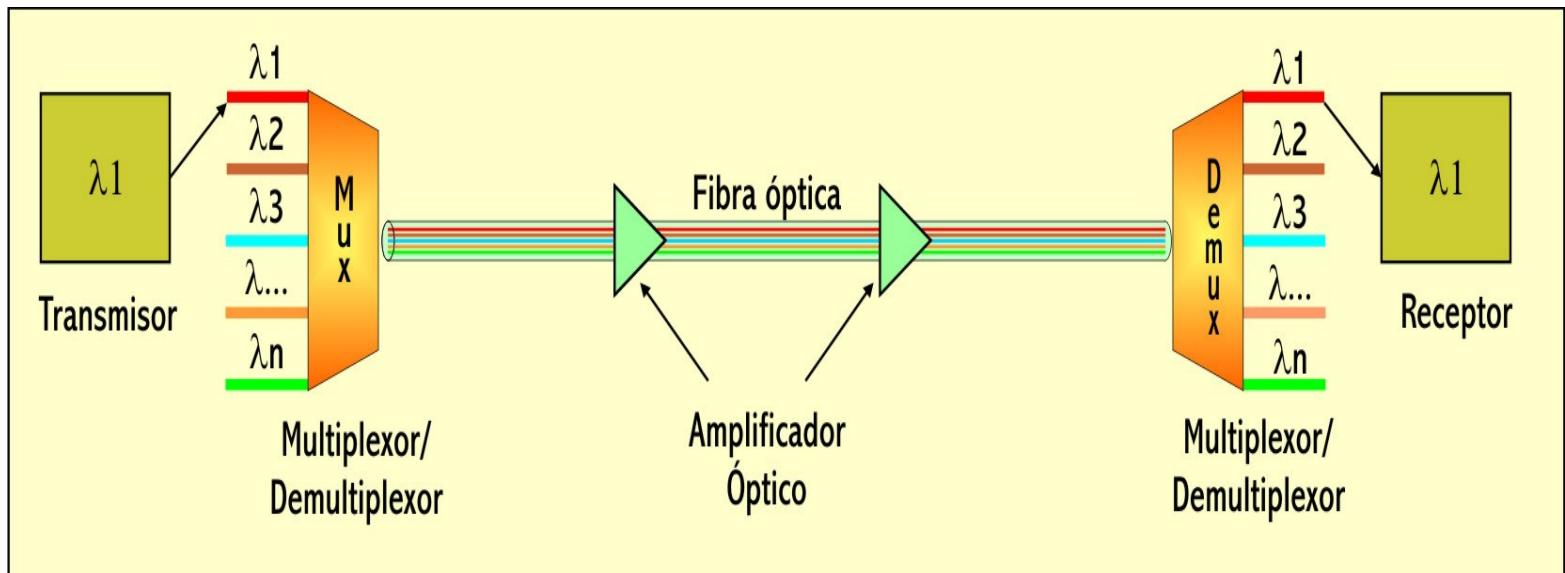


La Capa de Transporte Óptico permite brindar servicio a distintas capas de diferentes protocolos.

ATM e IP pueden ser soportados por distintos medios.

SDH y SONET operan sobre la capa de transporte óptica.

La Capa de Transporte Óptico requiere fibras ópticas, *transponder*, multiplexores, amplificadores y otros dispositivos.





#### *8.6.1.3 Ventajas de las redes ópticas*

- Grandes anchos de banda.
- Compatibles con los servicios de voz, datos y vídeo.
- Anchos de banda variables y escalables con una latencia adecuada.
- 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.
- Operación sumamente flexible.
- Excelente rentabilidad para sus operadores.



## 8.6.2 Sistemas ópticos WDM, CWDM, DWDM

### 8.6.2.1 Fibras ópticas

Corning Glass Incorporated introdujo las primeras fibras ópticas en el año 1970.

Fibra de vidrio purificado apta para comunicaciones con atenuación de 20 dB/km para la longitud de onda de 633 nm (láser de helioneón).

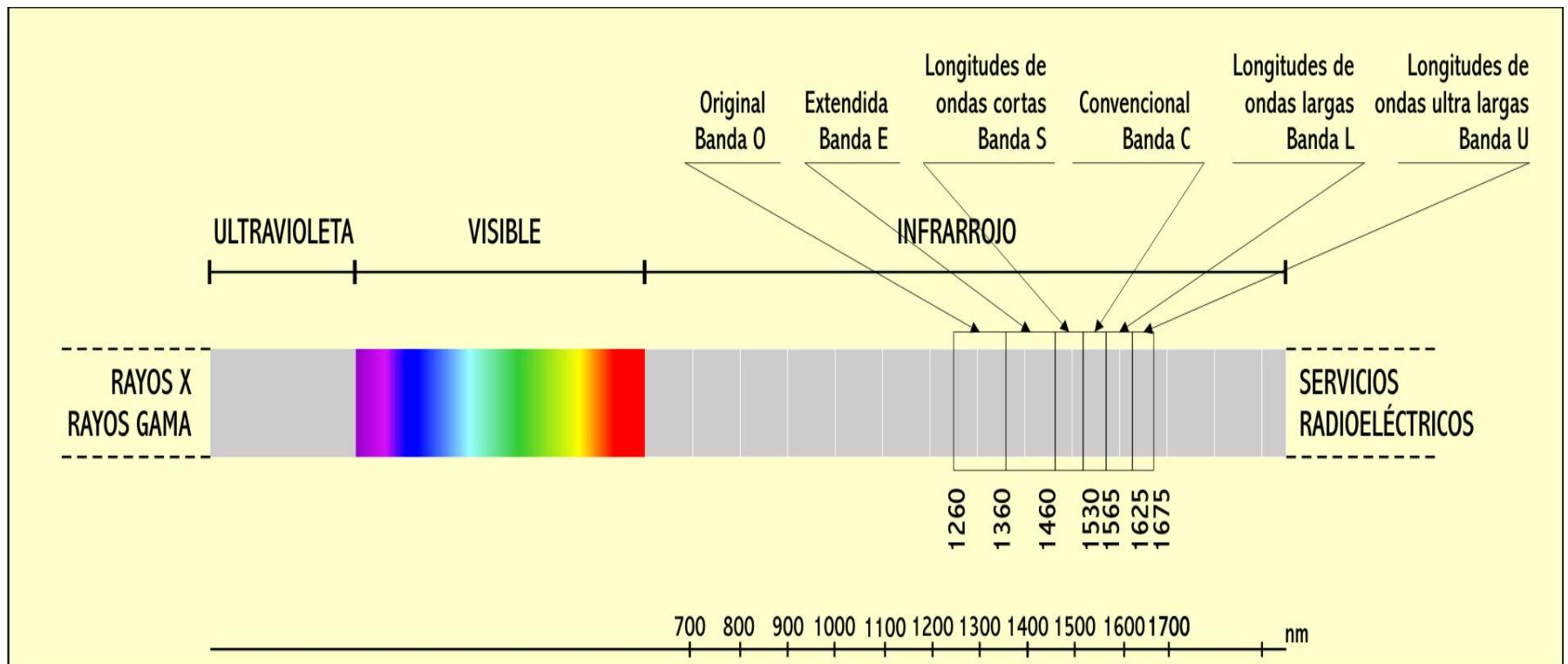
El primer uso por la AT&T con fibras multimodo fue un enlace a 45 Mbps.

Con las fibras monomodo se alcanzaron velocidades 10 veces mayores en tramos de 30 km.

Banda	Denominación	Intervalo [nm]	Observaciones
O	Original	1260 - 1360	Original
E	Extendida	1360 - 1460	Extended
S	Longitudes de ondas cortas	1460 - 1530	Short wavelength
C	Convencional	1530 - 1565	Conventional
L	Longitudes de ondas largas	1565 - 1625	Long wavelength
U	Longitudes de ondas ultra largas	1625 - 1675	Ultra long wavelength



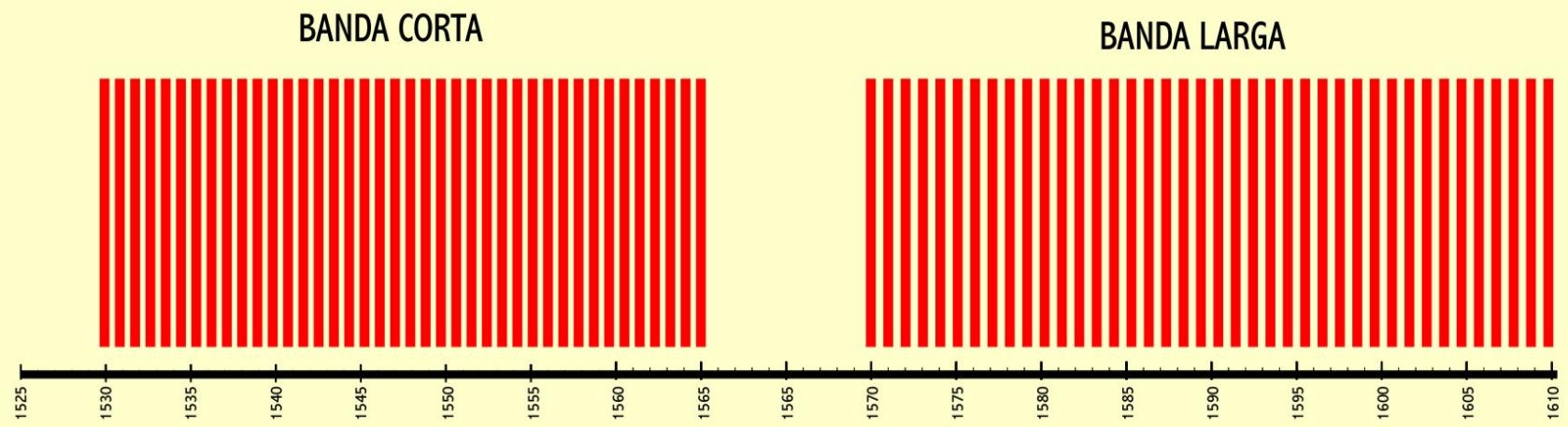
1994: IBM lanza el primer equipamiento de fibras ópticas monomodo que utilizaba el concepto de WDM.





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).

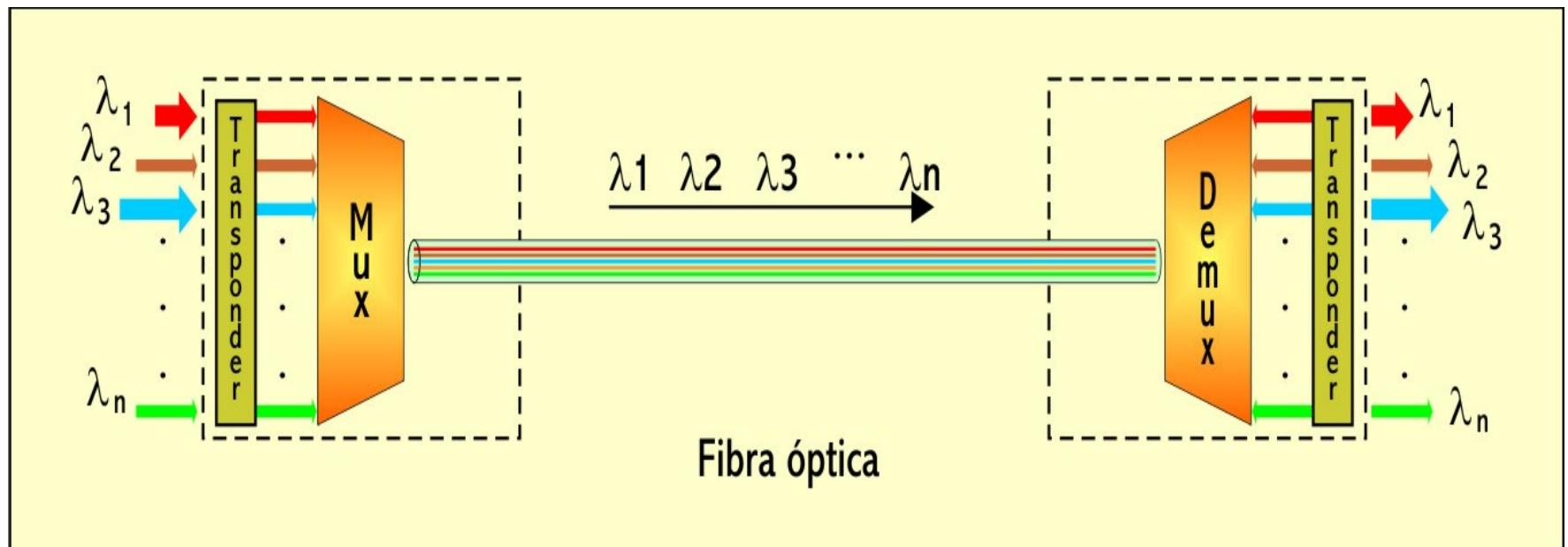
Se puede multiplexar la longitud de onda inicialmente en ocho canales, posteriormente en diez y luego a cuarenta operando en la banda C (tercera ventana).





### 8.6.2.2 Sistemas de transmisión por fibras

Un sistema de transmisión DWDM está compuesto por equipos *transponder* y multiplexor en ambos extremos de la fibra y amplificadores para mantener la amplitud.





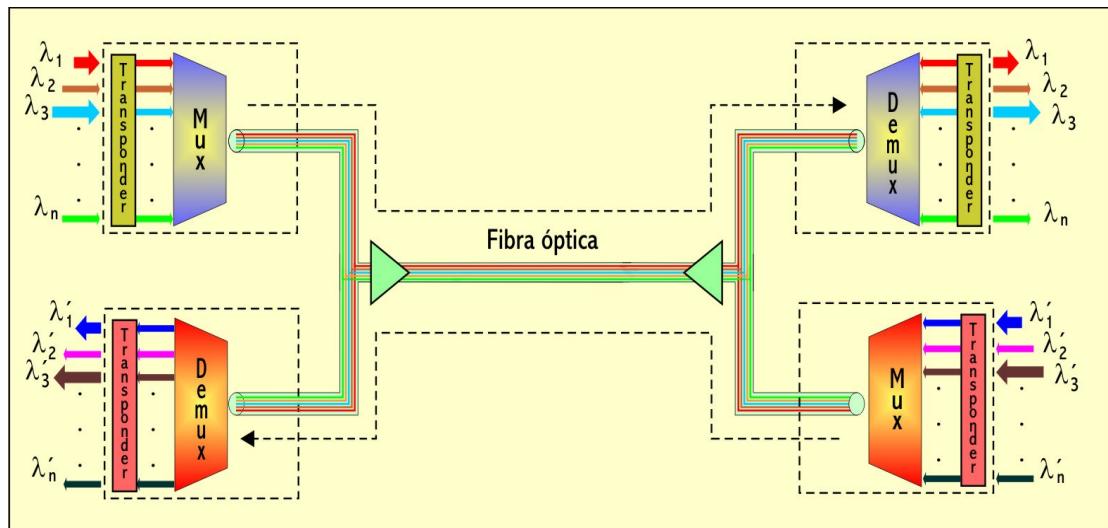
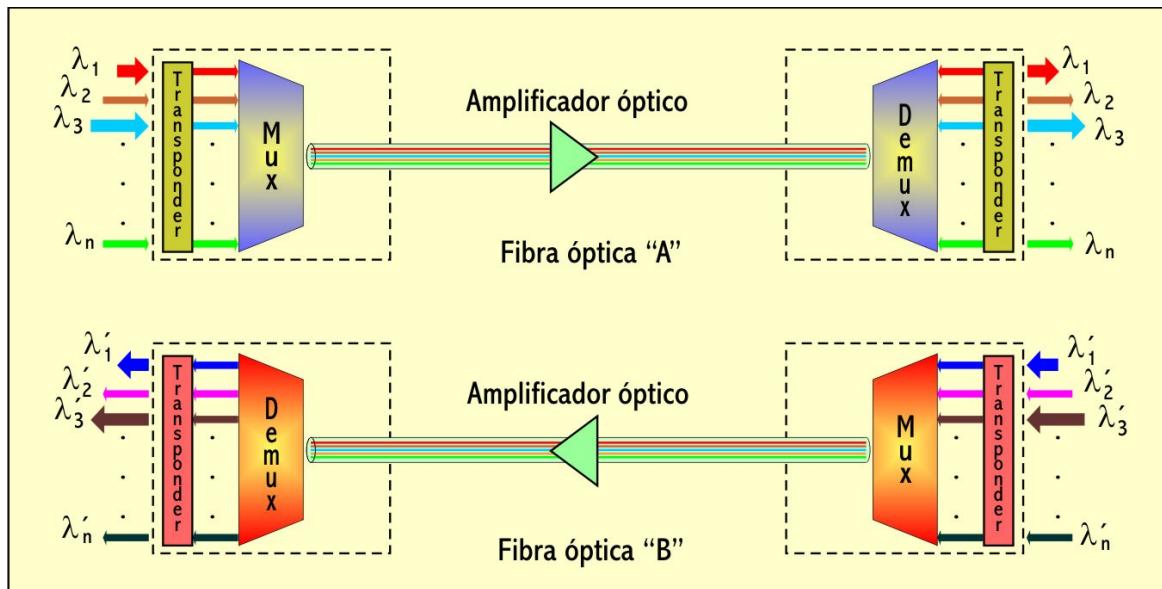
### *8.6.2.3 Sistemas unidireccionales y bidireccionales*

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





#### *8.6.2.4 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).



#### *8.6.2.5 Atenuación en la propagación de las señales ópticas*

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.

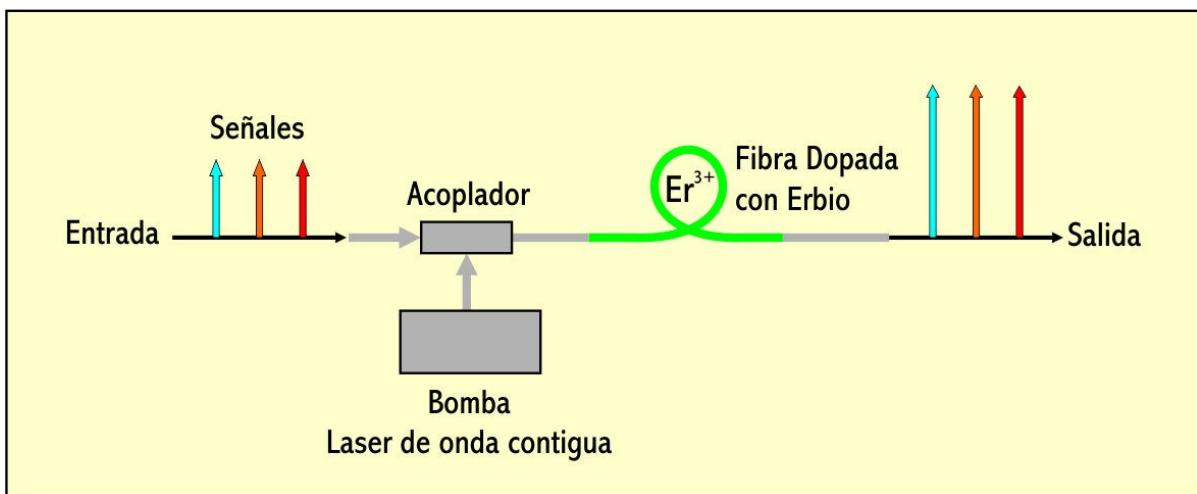


### 8.6.2.6 Amplificador de fibra dopada con Erbio

Los amplificadores ópticos utilizan fibras dopadas con tierras raras, en particular erbio ionizado en forma trivalente (erbio  $\text{Er}^{3+}$ ) cuyo número atómico es 68.

Utilizan el fenómeno de emisión estimulada introducido por Einstein en 1917.

La emisión espontánea se reparte por igual en todas las direcciones del espacio, mientras que la emisión estimulada tiene lugar en la misma dirección y sentido del haz de luz que actúa como estimulador.



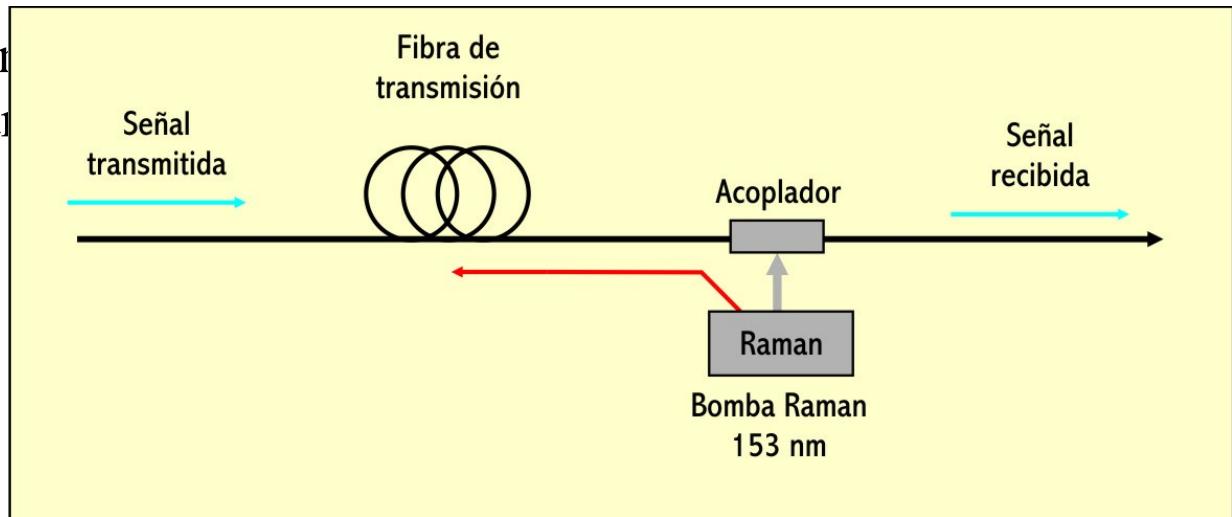


### 8.6.2.7 Amplificador de Raman

Utilizan la **Dispersión Raman** (*Raman Scattering*) o **Efecto Raman**, descubierta . en el año 1922 por el físico indio **Raman** en el trabajo *Difracción Molecular de la Luz*.

Hay una interacción no lineal entre la señal óptica y una señal generada por una bomba de gran potencia implementada con diodos láser que generan ondas continuas.

Las fibras monomodo están dopadas con tierras raras.





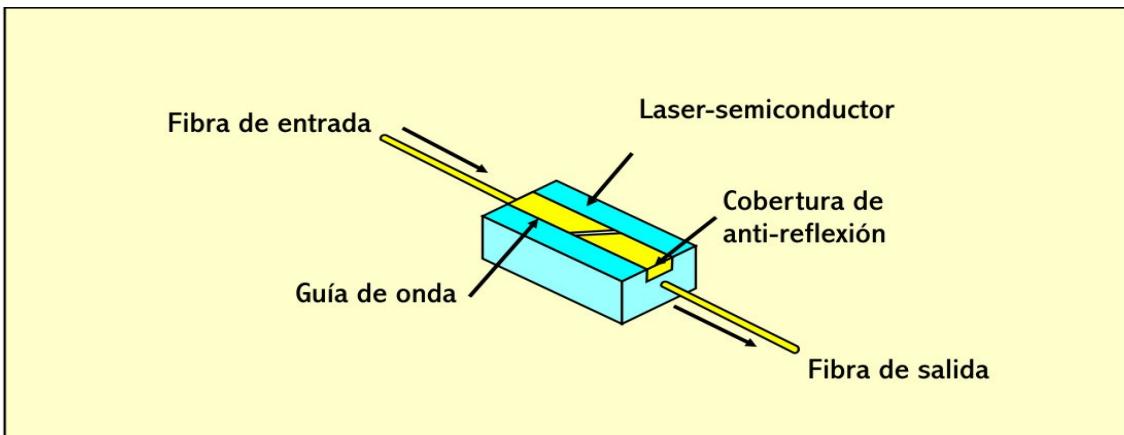
### 8.6.2.8 Amplificador óptico de semiconductores

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.

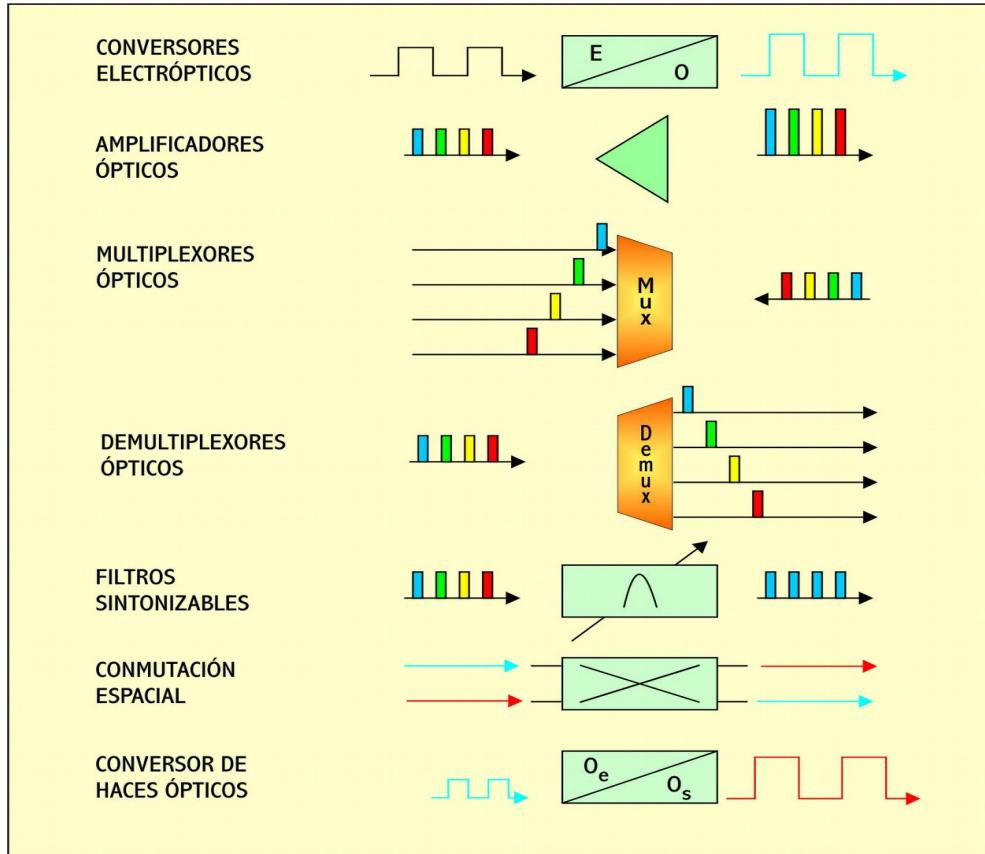
Trabajan entre los 1310 y 1550 nm en modo bidireccional

Comparados con los EDFA, tienen menos ganancia, altas perdidas por acoplamiento, mayor factor de ruido, fuerte dependencia de los efectos derivados de la polarización y un comportamiento no muy lineal en elevadas velocidades.





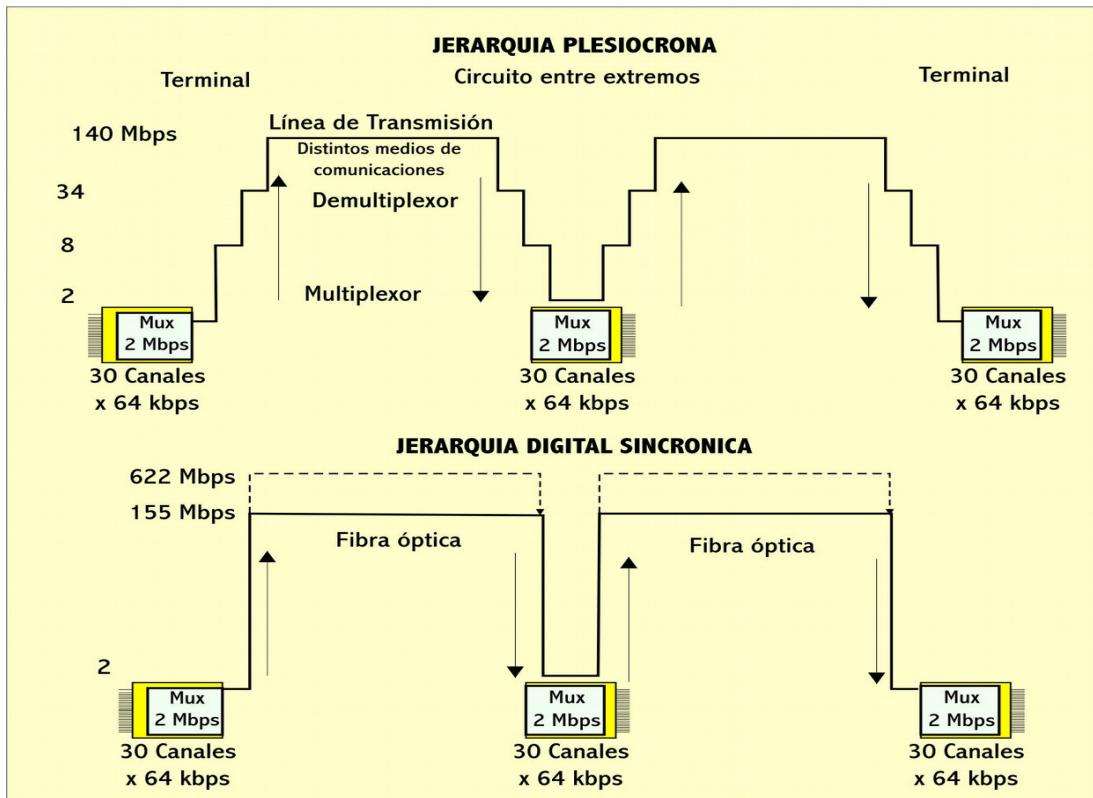
## 8.6.2.9 Funciones que realizan los distintos tipos de hardware óptico





## 8.7 Transmisión sincrónica

### 8.7.1 Introducción





### 8.7.2 Historia y características

El primer estándar sincrónico es de los Laboratorios Bellcore: *Synchronous Optical Network (SONET)*.

La normalización comenzó en 1984 y en 1985 forman en el **subcomité T1X1 del Comité T1 (ANSI)**.

Desafíos:

- a) SONET debe trabajar en un ambiente plesiócrono sin perder su naturaleza sincrónica.
- b) Resolver incompatibilidades entre el grupo básico europea (2,048 Mbps) y americana (1,544 Mbps).

SONET parte de una velocidad básica de 51,84 Mbps (canal STS-1)

Los anchos de banda mayores son múltiplos enteros de dicha velocidad.

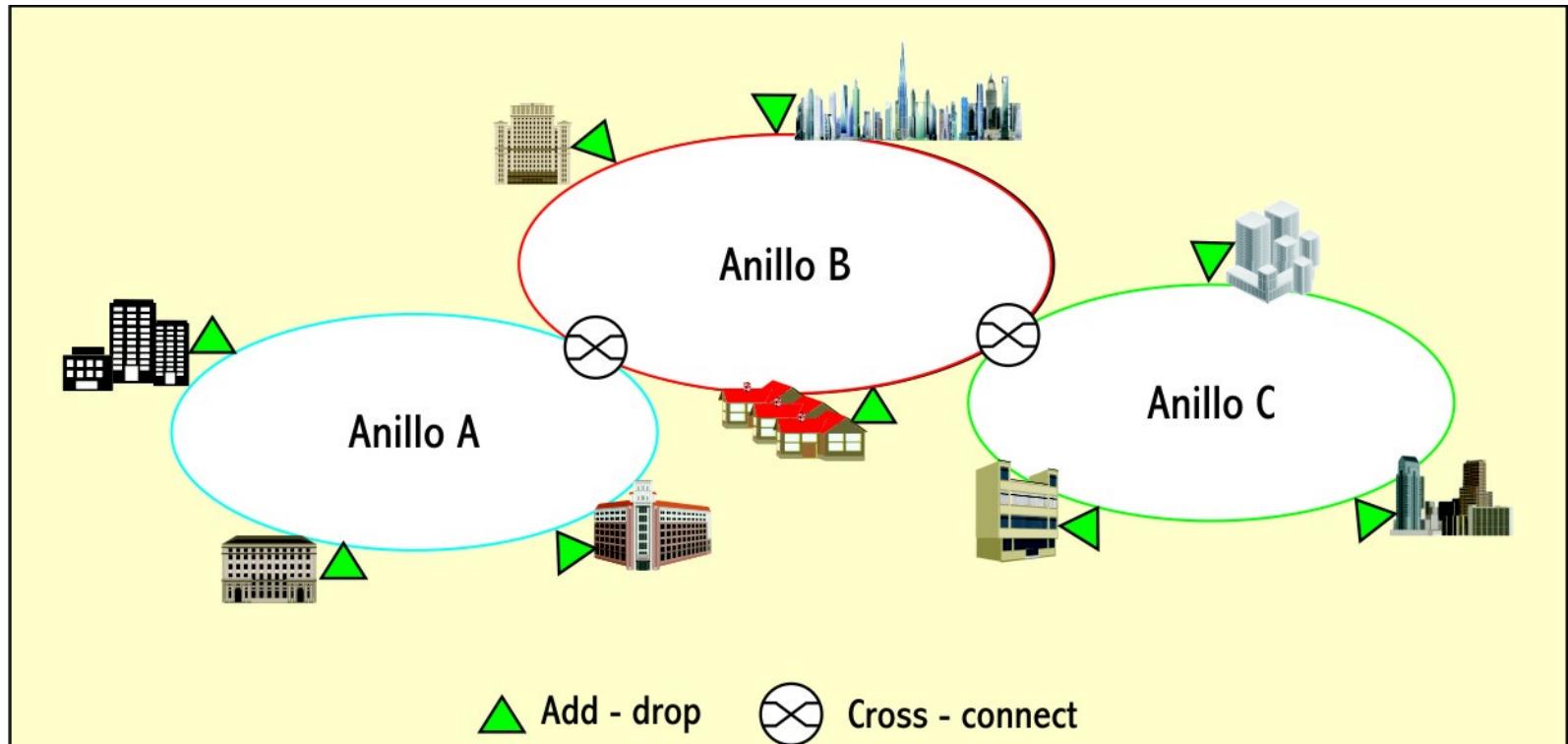
Un tributario virtual es una estructura utilizada para el transporte de una velocidad menor a un STS-1.



## 8.8 Comunicaciones por redes ópticas

### 8.8.1 Topología de las redes ópticas de comunicaciones

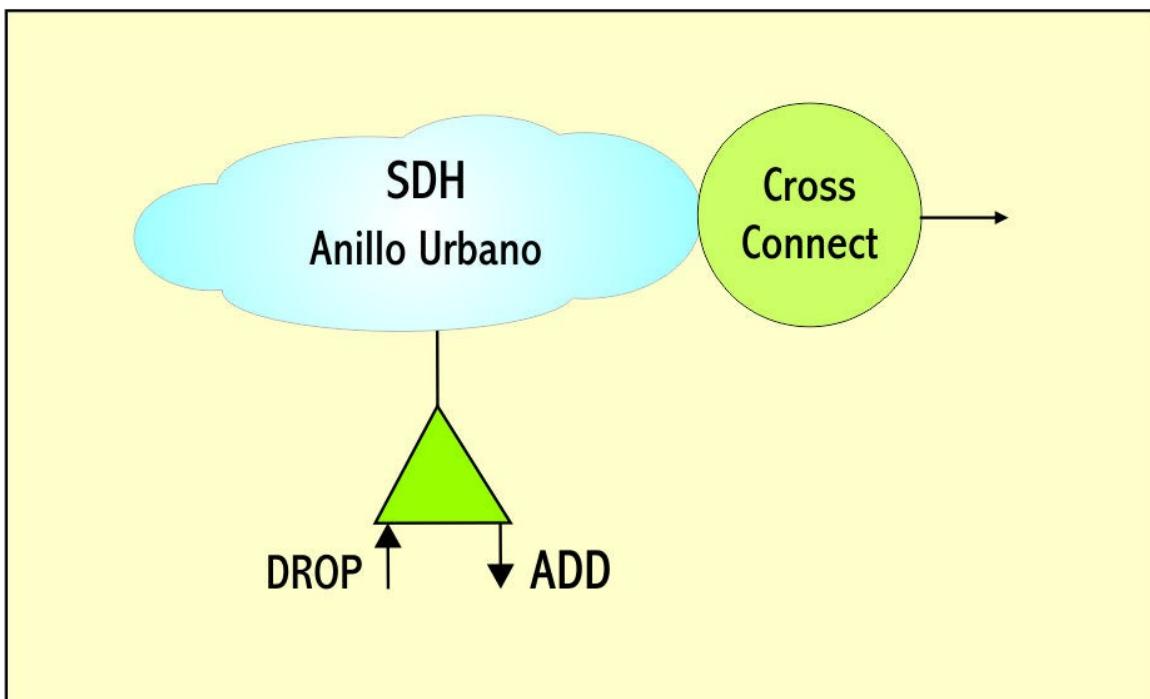
Las fibras ópticas se utilizan en Redes de Área Local, en anillos ópticos y en enlaces punto a punto.





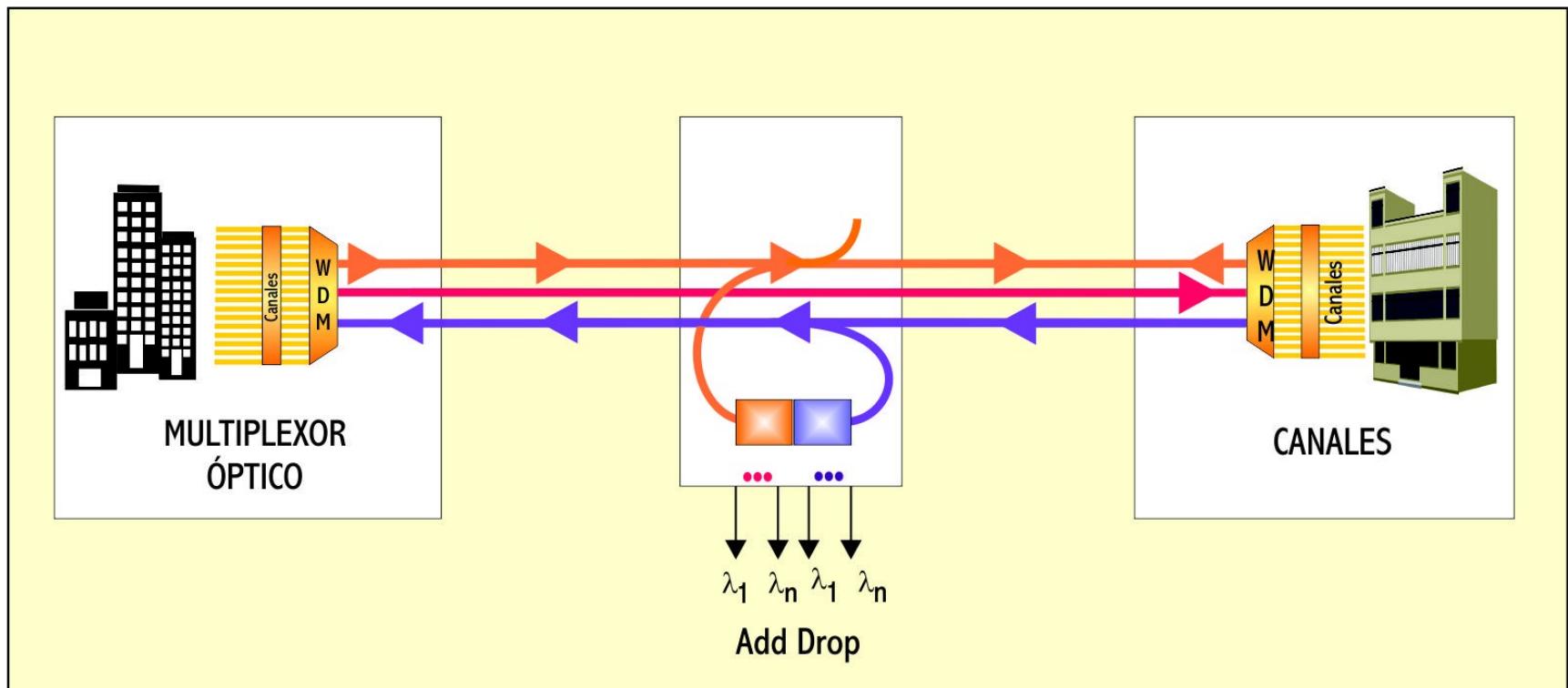
En enlaces punto a punto donde las fibras usen WDM en cada extremo se instalan terminales multiplexores para extraer los canales que transporta cada fibra.

Hay equipos *crossconnect* y *add/drop* con un anillo óptico.



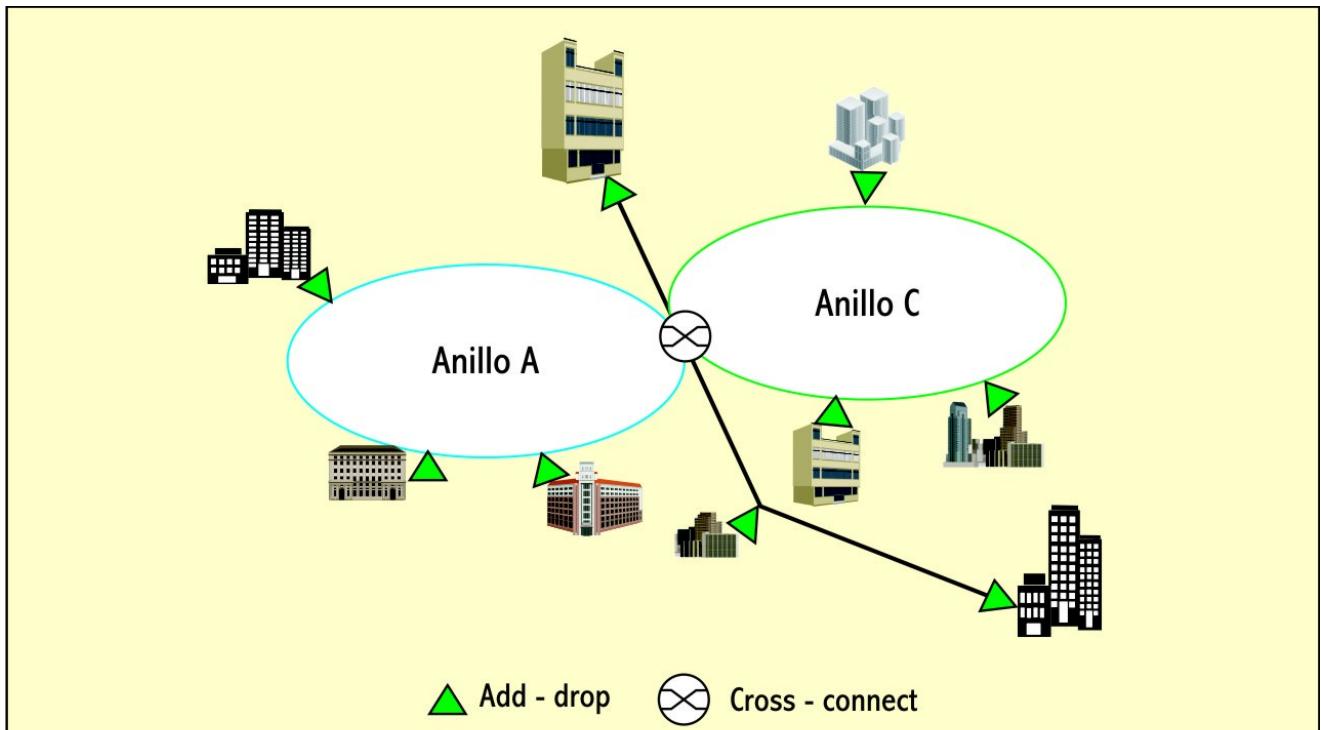


También podrían establecerse enlaces punto a punto con derivaciones utilizando un add/drop en la mitad del recorrido.





También podría establecerse un enlace con derivaciones utilizando en forma conjunta equipos cross-connect y add/drop.





## 8.8.2 Funciones de transporte y conmutación en redes ópticas

Las redes con anillos ópticos permiten que ante un corte en una parte del anillo, el tráfico automáticamente se redirecciona 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

Las tramas deben contener información de servicio, además de los usuarios para que puedan direccionarse hasta alcanzar su destino final.

Esto facilita el intercambio de grupos plesiócronos entre usuarios aunque no pertenezcan al mismo anillo óptico.

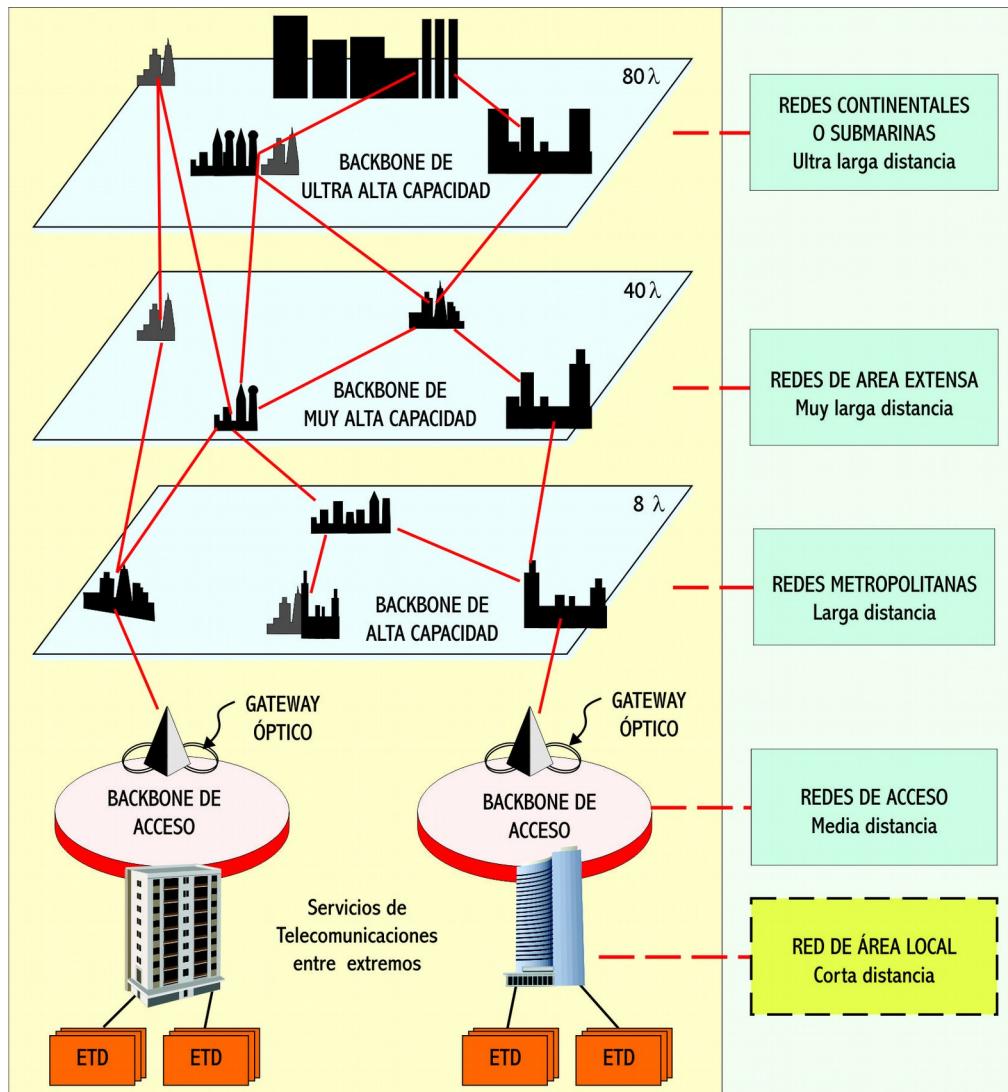


### 8.8.3 Clasificación de las redes ópticas de transporte

La clasificación clásica es en área local, metropolitana y extensa. 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.





## 8.9 Jerarquía digital sincrónica

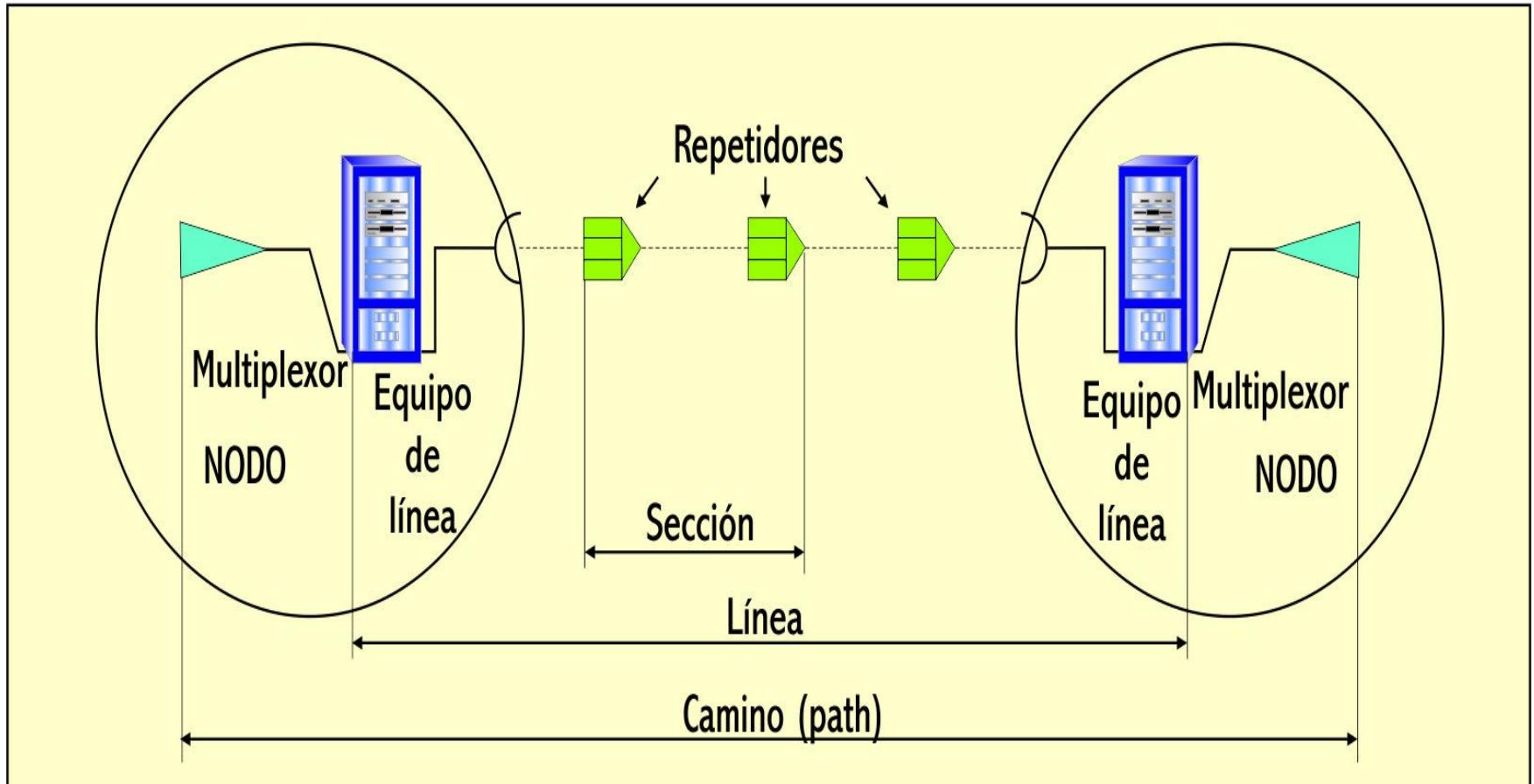
### 8.9.1 Características generales

El sistema **SDH** transporta las señales tributarias habituales de los sistemas plesiócronos y puede dar cabida a los nuevos servicios.

Hay cinco niveles jerárquicos que parten de una velocidad básica de 155,22 Mbps ( $N = 1$ )

Se logran mayores velocidades variando el  $N$ .

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



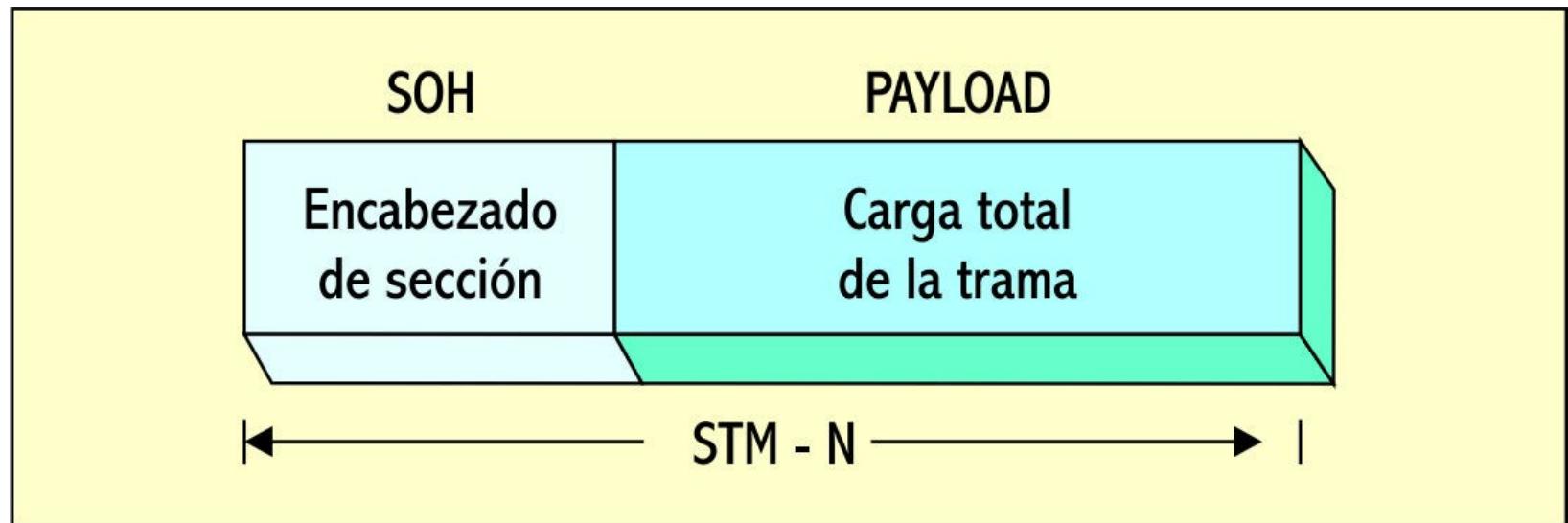


## 8.9.2 Estructura de las tramas SDH

Las tramas plesiochronas se analizan en una dimensión, pero las SDH se analizan en dos.

La trama *Synchronous Transport Modules - STM - N* (Módulo para el Transporte Sincrónico para el nivel N) en una dimensión tiene dos secciones diferenciadas:

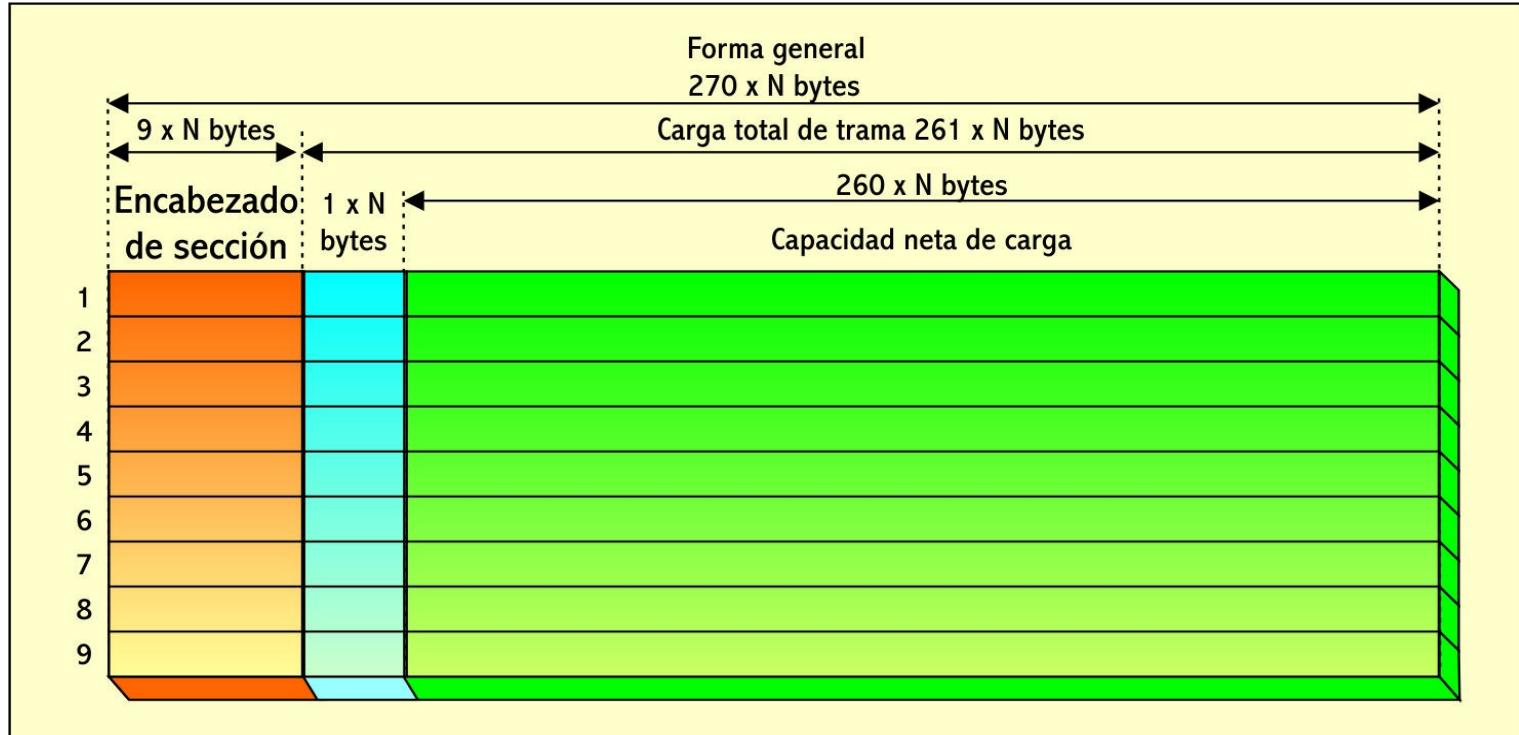
- Section Overhead - SOH* (encabezado de sección)
- Payload* (capacidad total de carga de la trama).





## Módulo de Transporte Síncrono 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





### 8.9.3 Contenedores virtuales: transporte de señales PDH

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

La trama STM – 1 tiene dos partes fundamentales:

- el encabezamiento de sección
- el contenedor virtual.

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 plesiócronos 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



## 8.10 SONET

Las características son muy similares a la Jerarquía Digital Sincrónica.  
Varia la forma de las tramas y las velocidades de cada nivel.

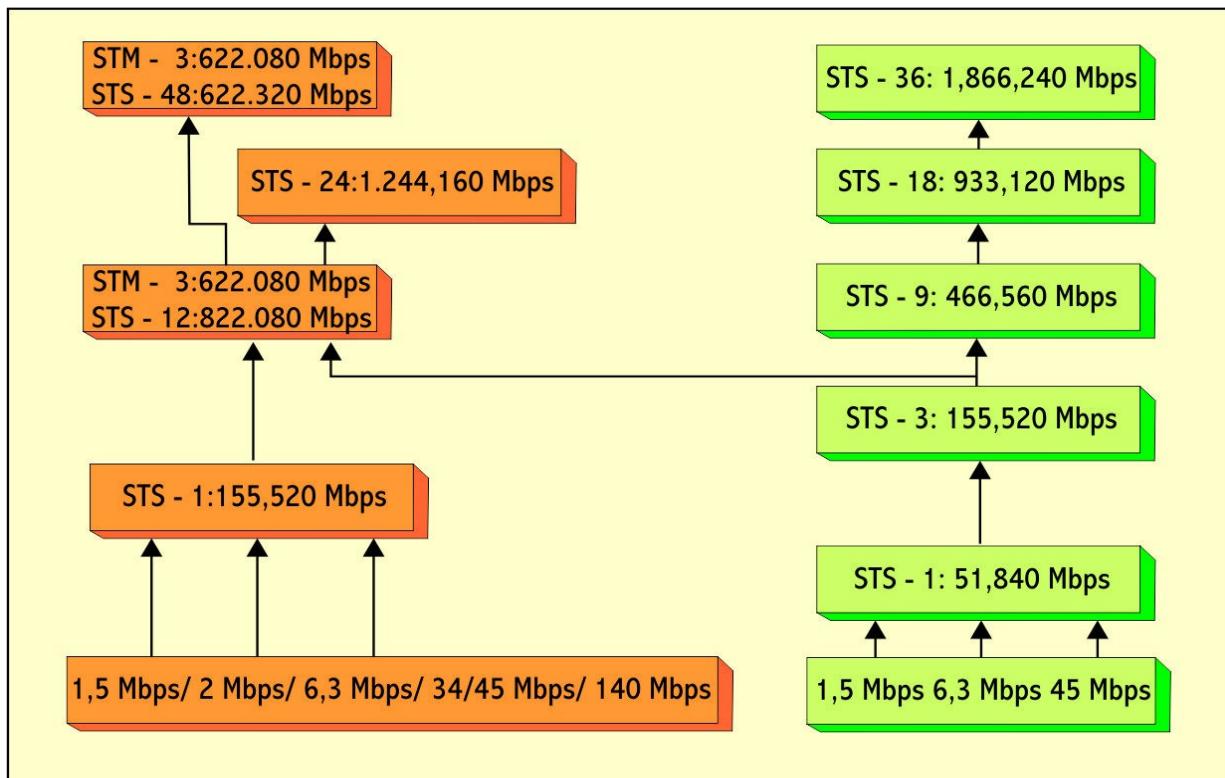
**La Jerarquía SONET** tiene velocidades normalizadas a partir de STS-1 (51,84 Mbps).

Los niveles se denominan “OC – n” (*Optical Carrier*).

NIVELES			VELOCIDADES	
OPTICO	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



## 8.11 Interrelación entre SONET y SDH





## 8.12 El futuro de las redes ópticas

Se desea que las próximas generaciones de redes ópticas brinden muy alta velocidad.

Inicialmente las redes de 10 Gbps pasaron a 40 Gbps, 100 Gbps y aun mayores.

Se desea reducir el costo de transportar grandes volúmenes de tráfico.

Los nuevos conceptos sobre las arquitecturas de transporte están orientados a combinar las tecnologías de transporte óptico con las de enrutamiento.

Hay *hardware* óptico de conmutación como lo son los *switchs* y *routers* ópticos que usan protocolos IP y logran altas velocidades a costos razonables.